بسم الله الرحمن الرحیم

کتاب جامع
پایدارسازی دیواره گودها
به روش خرپا و مهار متقابل

مؤلفین:

دکتر بهروز باباخانی

دکتر سهراب سپهر نیا

مهندس حسین صفار یوسفی فرد

پردیس علم

فهرست مطالب

فصل ۱: کلیات ۱۱

۱-۱- مقدمه ۱۲

۱-۲- مفاهیم و مبانی پایه ۱۲

۱-۳- انواع گود ۱۶

۱-۴- معرفی اجزای سیستم سازه نگهبان ۲۰

۱-۵- رفتار و مکانیزم انتقال بار در سازه‌های نگهبان ۸۷

۱-۶- طبقه‌بندی سازه‌های نگهبان ۸۸

۱-۷- روشهای مختلف گودبرداری و پایدارسازی دیواره‌های گود ۹۰

۱-۸- گودبرداری حفاظت شده ۱۰۰

۱-۹- حفاظت از ابنیه‌های همجوار گود ۱۱۴

فصل ۲: نحوه‌ی اجرای سازه نگهبان خرپایی و مهار متقابل ۱۱۹

۲- ۱- هدف گذاری فصل ۱۲۰

۲-۲- مقدمه ۱۲۰

۲-۳- نحوه اجرای سازه نگهبان به روش خرپایی ۱۲۰

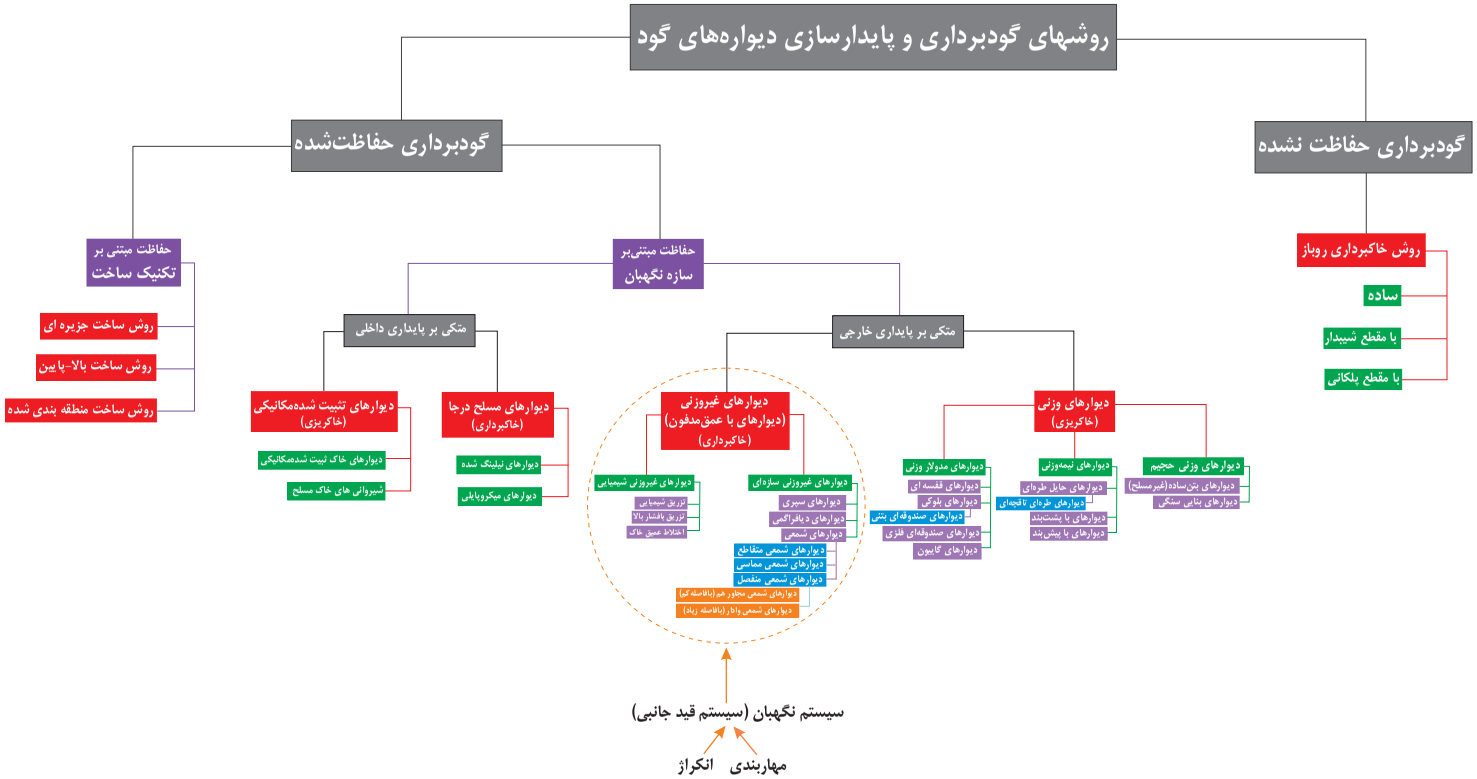
۲- ۴- نحوه اجرای سازه نگهبان به روش مهار متقابل ۱۵۶

۲-۵- جمع آوری سازه نگهبان خرپایی و مهار متقابل ۱۸۴

فصل ۳: شناخت و تفسیر گزارش مکانیک خاک یک پروژه ۱۸۷
۳- ۱- هدف گذاری فصل ۱۸۸
۳- ۲- مقدمه ۱۸۸
۳- ۳- برنامه‌ریزی و زمان بندی انجام مطالعات خاک و ارائه گزارش مکانیک خاک ۱۸۸
فصل ۴: تحلیل و طراحی سازه نگهبان خرپایی ۲۵۷
۴- ۱- مقدمه ۲۵۸
۴- ۲- اهداف فصل ۲۵۸
۴- ۳- نقشه راه فصل، تحلیل و طراحی سازه نگهبان خرپایی ۲۵۹
۴- ۴- تعریف مسئله ۲۵۹
۴- ۵- مصالح مصرفی ۲۶۰
۴- ۶- مشخصات خاک منطقه: ۲۶۲
۴- ۷- هندسه و جانمایی سازه نگهبان خرپایی ۲۶۶
۴- ۸- جا نمایی سازه نگهبان خرپایی ۲۶۸
۴-۹- تعیین هندسه سازه نگهبان خرپایی مثال فصل: ۲۷۶
۴-۱۰-چهارچوب نرم‌افزاری فصل: ۲۷۷
۴-۱۱- بارهای وارد بر سازه نگهبان خرپایی ۲۷۸
۴-۱۲- تخمین‌های اولیه مقاطع، برای شروع مدل‌سازی ۲۸۲
۴- ۱۳- محاسبه شیب پایدار در اجرای سازه نگهبان خرپایی توسط نرم‌افزار SLOPE/W ۲۸۴
۴- ۱۴- تحلیل سازه نگهبان خرپایی در برنامه PLAXIS-2D ۳۱۶
۴- ۱۵- تحلیل و طراحی ژئوتکنیکی شمع به روش دستی ۳۷۱
۴- ۱۶- مدل‌سازی سازه نگهبان خرپایی در برنامه SAP2000 ۴۰۲
۴- ۱۷- پیوست ۵۰۰
فصل ۵: تحلیل و طراحی سیستم مهار متقابل ۵۳۵
۵- ۱- مقدمه ۵۳۶
۵- ۲- اهداف فصل ۵۳۶

۵- ۳- نقشه راه..... ۵۳۷
۵- ۴- اجزای سیستم مهار متقابل..... ۵۳۷
۵- ۵- نکاتی در ارتباط با چیدمان اعضای سیستم مهار متقابل از منظر نکات مشترک طراحی و اجرا..... ۵۳۹
۵- ۶- نکاتی در مورد چیدمان اعضا از منظر اصول طراحی..... ۵۴۲
۵- ۷- توصیف مدل..... ۵۴۴
۵- ۸- تعیین ظرفیت ژئوتکنیکی شمع‌های المان‌های Soldier Pile..... ۵۵۰
۵- ۹- فلسفه‌ی مدل‌سازی ژئوتکنیکی سیستم مهار متقابل مثال فصل با نرم‌افزار PLAXIS 3D..... ۵۵۳
۵- ۱۰- آشنایی عمومی با بخش‌های برنامه PLAXIS 3D..... ۵۵۳
۵- ۱۱- تکنیک‌های عمومی برای مدل‌سازی بهتر در برنامه PLAXIS 3D..... ۵۵۴
۵- ۱۲- هندسه‌ی مدل فصل پیش روی در PLAXIS 3D..... ۵۵۷
۵- ۱۳- شناخت المان‌های اجزا محدود مهم در برنامه‌ی PLAXIS 3D..... ۵۶۰
۵- ۱۴- المان‌های استفاده شده در مدل‌سازی مثال فصل (مهار متقابل) در PLAXIS 3D ۵۶۴
۵- ۱۵- گام‌های مدل‌سازی سیستم مهار متقابل در برنامه‌ی PLAXIS 3D..... ۵۶۵
۵- ۱۶- نکاتی پیرامون ترسیم اعضا، سطوح و حجم‌ها در برنامه‌ی PLAXIS 3D..... ۵۶۶
۵- ۱۷- جزئیات مدل‌سازی مثال فصل (سیستم مهار متقابل با استفاده از Soldier Pile و رویه‌ی شاتکریتی) در PLAXIS 3D..... ۵۶۷
۵- ۱۸- تعیین مشخصات رفتاری فنرهای Q-Z/ T-Z /P-Y در مثال فصل..... ۶۴۰
۵- ۱۹- مدل‌سازی سیستم پایدارسازی به روش مهار متقابل در برنامه SAP2000..... ۶۴۴

منابع..... ۶۸۹



شکل ۱-۱۰۰ طبقه‌بندی روش‌های گودبرداری و پایدارسازی دیواره‌های گود

۱-۷-۱- روش خاکبرداری روباز

۱-۱-۷-۱- روش خاکبرداری روباز ساده

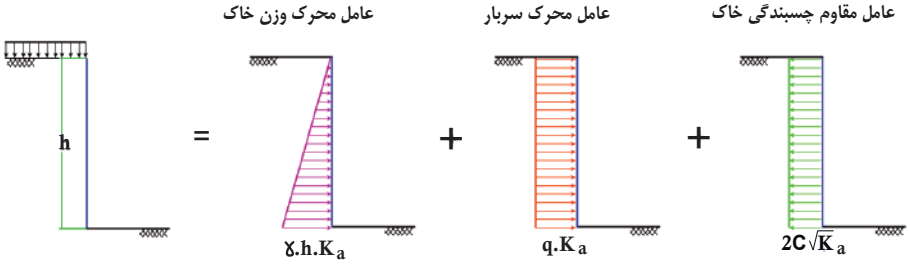
در روش خاکبرداری روباز ساده[1] هیچگونه حفاظتی در دیواره‌های قائم گود وجود ندارد. در این روش تنها براساس مشخصات خاک، عمق پایدار گود قائم محاسبه و به گونه ای اجرا می‌شود که دیواره‌ی خاکی قائم بدون هرگونه محافظتی پایدار بماند. از آنجایی که در این روش هیچگونه قید حفاظتی در حین عملیات گودبرداری وجود ندارد، فضای داخل گود با این قیود اشغال نمی‌گردد و در جبهه‌های کاری درون گود محدودیت فضایی ایجاد نمی‌شود.

محاسبه عمق پایدار گود را می‌توان با استفاده از تئوری تعادل حدی رانکین به شکل زیر محاسبه نمود.

نیروی فشار جانبی محرک خاک از رابطه زیر بدست می‌آید.

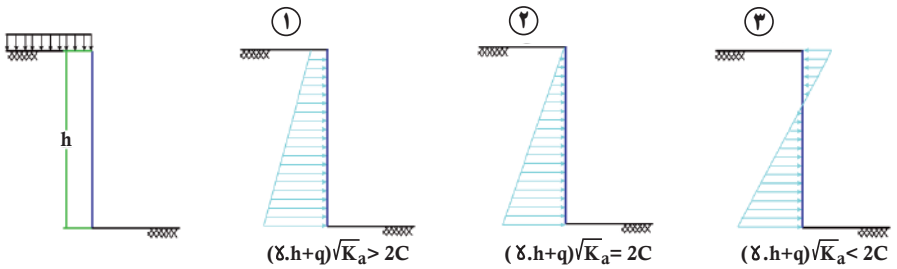
$$P_a = \gamma h K_a + q K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

جمله های طرف دوم تساوی بالا را به ترتیب از چپ به راست جمله وزن(γ)، جمله دوم را جمله سربار(q) و جمله سوم را جمله چسبندگی(c) می‌نامیم. توزیع مقدار جمله وزن در این رابطه در ارتفاع دیوار مثلثی فرض می‌شود ولی توزیع دو جمله دیگر مستطیلی است.



شکل ۱-۱۰۱ مولفه‌های نیروی فشار جانبی محرک خاک

از لحاظ مقدار عددی، نیروی محرک(P_a) میتواند مقداری منفی، صفر و مثبت داشته باشد که در شکل زیر نشان داده شده اند:



شکل ۱-۱۰۲ حالات عددی ممکن برای نیروی محرک

1. Simple open cut

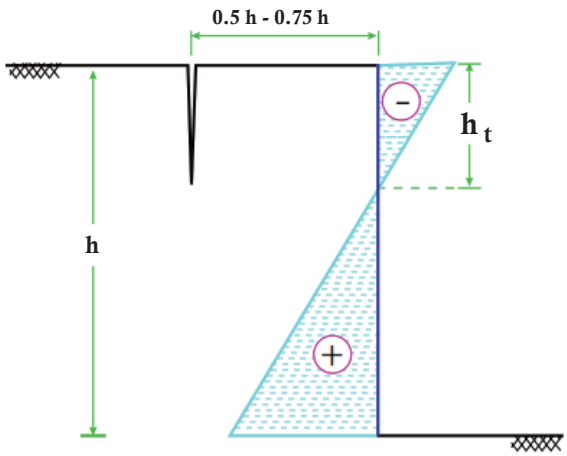
حالت۱: در این حالت مطابق شکل در تمامی نقاط دیواره گود، نیروی محرک P_a مثبت است.

حالت۲: در این حالت مطابق شکل در تاج گود، نیروی محرک P_a صفر و در تمامی نقاط دیواره گود در موقعیت پایین‌تر از سطح زمین، نیروی محرک P_a مثبت است.

حالت۳: در این حالت مطابق شکل تا یک عمق معین، نیروی محرک P_a منفی است و سپس تا انتهای گود مقدار آن مثبت خواهد بود.

یادآوری: برخلاف مباحث مکانیک جامدات که قرارداد علامت مثبت در حالت کششی است. در مباحث مکانیک خاک، قرارداد علامت مثبت در حالت فشاری است.

همانگونه که در حالت ۳ بیان شد، تا یک عمق معین، نیروی محرک P_a منفی است، بدین معنا که خاک تا این عمق تحت کشش واقع می‌شود تا به صفر برسد. بدین عمق، عمق ترک کششی[1] می‌گویند و آنرا با h_t نشان می دهند، این ترک ها همانطور که در اشکال زیر مشاهده می‌شود، موازی با جداره گود تشکیل می‌شوند.



شکل ۱-۱۰۳ ترک کششی

و برابر است با:

$$P_a = 0 \Rightarrow h_t = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}} - \frac{q}{\gamma}$$

عمق پایدار گود[2] یا عمق بحرانی[3] را در دو حالت به شرح زیر می‌توان بیان نمود:

۱-اگر شرایط خاک از نظر رطوبت، میزان سیمانته بین ذرات، زمان باز باقی ماندن گود و آب زیرزمینی به صورتی باشد که ترک کششی در خاک پشت دیواره قائم گود به وجود نیاید، عمق حدی یک گود قائم را با فرض سطح لغزش مسطح، دو برابر عمق ترک کششی در نظر می گیرند و یک

1. depth of tensile crack
2. stable depth
3. critical depth

ضریب اطمینان[1] بر آن اعمال می‌کنند و آنرا با h_c نشان می دهند:

$$h_c = \frac{2 \times h_t}{FS}$$

مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان(پی و پی سازی)، ویرایش ۱۳۹۲، رابطه ۷-۳-۱، با درنظر گرفتن ضریب اطمینان ۲، عمق بحرانی گودبرداری را بصورت زیر بیان می‌کند:

$$h_c = \frac{2 \times h_t}{FS} \xrightarrow{FS=2} h_c = h_t = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}} - \frac{q}{\gamma}$$

شایان ذکر است برخی مراجع با بکارگیری ضریب اطمینان ۲/۶۷ رابطه عمق بحرانی گودبرداری را بصورت زیر بیان می‌کنند:

$$h_c = \frac{2 \times h_t}{FS} \xrightarrow{FS=2.67} h_c = \frac{1.5c}{\gamma\sqrt{K_a}} - \frac{0.75q}{\gamma}$$

۲- اگر شرایط به نحوی باشد که ترک کششی در خاک پشت دیواره قائم گود بروز پیدا کند، عمق حدی یک گود قائم را برابر عمق ترک کششی در نظر می گیرند و یک ضریب اطمینان بر آن اعمال می‌کنند و آنرا با h_c نشان می دهند:

$$h_c = \frac{h_t}{FS}$$

اگرچه اغلب کتب درسی مقدماتی مهندسی پی فقط حالت ۱ را ارائه کرده اند، ولی در شرایط کاربردی باید حالت ۲ نیز درصورت امکان وقوع، مدنظر قرار گیرد.

همانطور که از روابط فوق مشاهده گردید، اولین شرط جهت امکان اجرای این روش گودبرداری، وجود چسبندگی (c) در خاک است و لذا در خاک‌های دانه‌ای (فاقد چسبندگی و سیمانتاسیون) این روش گودبرداری امکان پذیر نیست.

باولز[2] در کتاب تحلیل و طراحی پی[3] بیان می کند که؛ h_c عمقی است که از لحاظ نظری، گود می‌تواند بدون حفاظت جانبی پایدار بماند و در ادامه تأکید می‌کند که این عمق، یک عمق تئوریک[4] بوده و در کاربردهای اجرایی باید به محدودیت های عنوان شده در آیین‌نامه‌های ساختمانی و مراجع ایمنی دولتی (نظیر OSHA ایالت متحده آمریکا) را نیز مدنظر قرار داد. به همین علت در ادامه جهت تکمیل شدن این موضوع به محدودیت تبیین شده توسط OSHA می‌پردازیم:

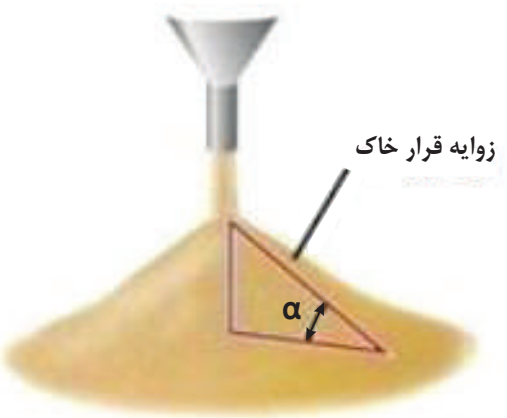
OSHA در راهنمای مرتبط با ایمنی گودبرداری و احداث ترانشه بیان می‌کند که در تمامی گودبرداری‌ها یا احداث ترانشه هایی با عمق بیش از ۱/۵ متر، حفاظت از گودبرداری لازم است مگر آنکه گودبرداری حفاظت نشده با شیب پایدار اجرا شود و یا دیواره گود سنگی باشد.

1. factor of safety
2. Joseph E. Bowles
3. Foundation Analysis and Design
4. theoretical depth

۲-۱-۷-۱- روش خاکبرداری روباز با مقطع شیبدار

قبل از تبیین این روش، خالی از لطف نیست که به وجه تمایز زاویه قرار خاک و شیب پایدار بپردازیم:

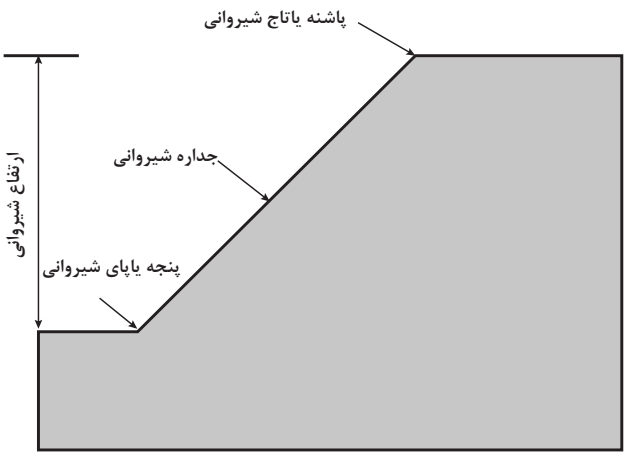
زاویه قرارِ خاک[1] که از آن با عناوین زاویه ایستایی خاک یا زاویه شیب طبیعی خاک یا زاویه طبیعی شیروانی خاک یا زاویه طبیعی ریزش خاک نیز یاد می‌شود، عبارت است از: اگر خاک خشکی را از فاصله کم توسط یک قیف یا سطح شیبدار، بر روی سطحی صاف بریزیم، خاکی در وضعیت مخروطی شکلی واقع می‌شود که به زاویه شیب دیواره خاکی و سطح افق، زاویه قرار خاک می‌گویند. بعبارت دیگر اگر توده ای از خاک نامتراکم را بر روس سطحی بریزیم، بصورت طبیعی با یک شیب مشخص بر روی سطح استقرار می‌یابد که بدین شیب خاک با سطح افق، زاویه شیب طبیعی خاک می‌گویند.



شکل ۱-۱۰۴ زاویه قرارِ خاک

شیب پایدار[2] یا شیب ایمن[3]، شیبی است که تحت آن شیب شیروانی خاکی بدون هیچگونه حرکت و جابجایی‌ای با گذشت زمان، بر جای خود ثابت مانده و در واقع پنجه یا پایِ شیروانی[4] در محل اولیه خود ثابت باقی می ماند. اگرچه در برخی از انواع خاک‌ها شیب ایمن خاک نزدیک به زاویه‌ی شیب طبیعی خاک است اما تاکنون رابطه قابل اعتمادی بین این دو بدست نیامده است.

1. angle of repose
2. stable slope
3. safe slope
4. Toe of the Slope



شکل ۱-۱۰۵ اجزای شیروانی

در روش خاکبرداری روباز با مقطع شیبدار[1] هیچگونه حفاظتی در دیواره‌های گود وجود ندارد. در این روش تنها براساس مشخصات خاک، شیب پایدار (شیب ایمن) محاسبه و به گونه ای اجرا می‌شود که جداره‌ی خاکی شیبدار بدون هرگونه محافظتی پایدار بماند. در این روش نیز با توجه به عدم وجود قیود حفاظتی، فضای داخل گود اشغال نشده و محدودیت‌های فضای کاری بوجود نمی‌آید. البته بدیهی است، در صورتیکه در پیرامون محل گودبرداری ساختمان و مستحدثاتی وجود نداشته باشد و عمق گودبرداری کم تا متوسط باشد، ممکن است این روش گودبرداری قابلیت اجرا داشته باشد.

در یک گود حفاظت نشده، از عوامل موثر در پایداری کلی سیستم خاک و تغییر شکلهای ایجاد شده عبارتند از:

۱- عمق گودبرداری
۲- شیب دیواره
۳- نوع و شرایط خاک
۴- وضعیت آب زیرزمینی
۵- مدت زمانی که مقرر است دیواره گود بصورت شیب پایدار باقی بماند

اصولاً انتخاب شیب ایمن و پایدار در این روش باید براساس تئوری‌های تعادل حدی در مکانیک خاک و تحلیل پایداری شیروانی خاکی با عنایت به پارامترهای مقاومتی خاک صورت پذیرد لکن در عمل برای تخمین شیب مطمئن خاکبرداری می‌توان از ضوابط مطرح شده در آیین‌نامه‌های گودبرداری نظیر استاندارد OSHA و سایر آیین‌نامه‌های معتبر گودبرداری در دنیا استفاده نمود.

استاندارد OSHA، خاک‌ها را از نظر گودبرداری به چهار دسته بصورت زیر طبقه‌بندی می‌نماید:

1. sloped open cut

۱- سنگ‌های پایدار

سنگ‌های پایدار[1] مواد معدنی جامد و طبیعی هستند که می‌توان آنها را بصورت قائم به گونه‌ای گودبرداری نمود که پس از گودبرداری، بدون ترک باقی بمانند.

۲- خاک‌های نوع A

در این گروه خاک‌های چسبنده‌ای[2] با مقاومت فشاری تک‌محوری بیش از ۱۴۴ kPa قرار می‌گیرند که در این صورت این نوع خاک، رس سخت[3] محسوب می‌شود. رس[4]، رس‌های سیلتی[5]، رس‌های ماسه‌دار[6]، و در برخی موارد رس‌ماسه‌ها[7] ازجمله خاک‌های این گروه به‌شمار می‌روند.

شایان ذکر است چنانچه خاکی شرایط فوق را داشته باشد ولی ترک‌خورده باشد، یا شرایط ساختگاه به‌گونه‌ای باشد که خاک تحت ارتعاشات ناشی از هر نوع بارگذاری واقع شود و یا تراوش آب وجود داشته باشد، جزء خاک‌های این گروه محسوب نمی‌شود.

۳- خاک‌های نوع B

در این گروه خاک‌های چسبنده‌ای با مقاومت فشاری تک‌محوری بین ۴۸ kPa تا ۱۴۴ kPa قرار می‌گیرند که در این صورت این نوع خاک، رس نیمه‌سفت[8] محسوب می‌شود. همچنین خاک‌های غیرچسبنده‌ی دانه‌ای[9]، شامل: شن، سیلت، رس‌ماسه‌ها و رس‌ماسه‌های سیلتی[10] و نیز گاهی اوقات رس‌ماسه‌های رسی سیلتی[11] و رس‌ماسه‌های پُرماسه[12] ازجمله خاک‌های این گروه به‌شمار می‌روند.

البته توصیه شده است در جهت اطمینان، کلیه‌ی خاک‌های غیرچسبنده‌ی دانه‌ای در گروه خاک‌های نوع C قرار گیرند.

۴- خاک‌های نوع C

در این گروه خاک‌های چسبنده‌ای با مقاومت فشاری تک‌محوری کمتر از ۴۸ kPa قرار می‌گیرند که در این صورت این نوع خاک، رس نرم[13] محسوب می‌شود. خاک‌های دانه‌ای نظیر: شن، ماسه،

---

1. Stable Rocks
2. Cohesive soils
3. Hard Clays
4. clay
5. Silty clays
6. Sandy Clays
7. Sandy Clay loams
8. medium stiff clays
9. granular cohesionless soils
10. silt loam
11. silty clay loam
12. sandy clay loam
13. soft clays

ماسه‌رسی[1]، خاک‌های مغروق در آب و خاک‌هایی که آب آزادانه از آن‌ها تراوش می‌کند و سنگ مستغرق ناپایدار در این گروه جای می‌گیرند.

استاندارد OSHA، حداکثر مقدار شیب مجاز را براساس طبقه‌بندی انواع خاک‌های تبیین شده، طبق جدول زیر ارائه می‌کند:

جدول ۴: حداکثر شیب مجاز انواع خاک‌ها بر اساس استاندارد OSHA

ردیف	نوع خاک	حداکثر زاویه شیب پایدار(درجه)	حداکثر نسبت شیب پایدار(قائم به افقی)
۱	سنگ‌های پایدار	۹۰	قائم
۲	خاک‌های نوع A	۵۳	۱ قائم به ۰/۷۵ افقی
۳	خاک‌های نوع B	۴۵	۱ قائم به ۱ افقی
۴	خاک‌های نوع C	۳۴	۱ قائم به ۱/۵ افقی
۵	خاک‌های نوع A (شرایط کوتاه مدت)	۶۳	۱ قائم به ۰/۵ افقی

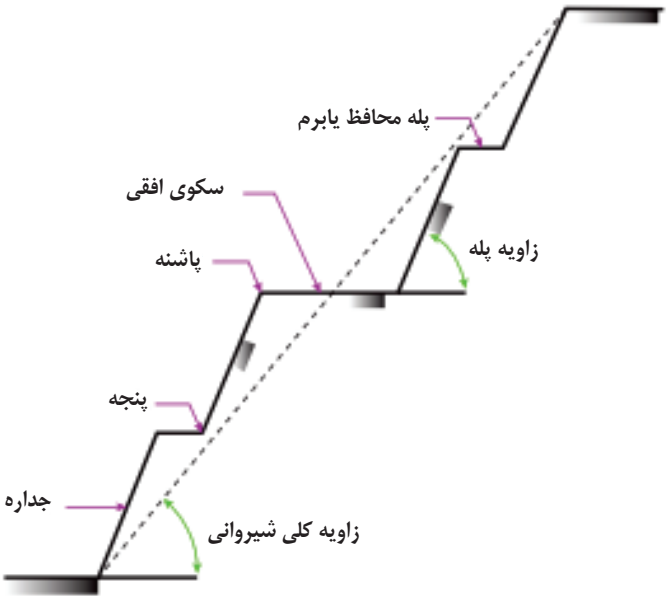
شکل ۱-۱۰۶ تصاویر شیب مجاز انواع خاک‌ها بر اساس استاندارد OSHA

البته استاندارد OSHA، تصاویری در خصوص شیروانی‌هایی با دو لایه خاک نیز ارائه نموده است، که علاقه‌مندان می‌توانند به آن رجوع کنند. منظور از شرایط کوتاه مدت، شرایطی است که در آن مقرر است گود حداکثر ۲۴ ساعت بدون حفاظت باقی بماند.

۳-۱-۷-۱- روش خاکبرداری روباز با مقطع پلکانی

در روش خاکبرداری روباز با مقطع پلکانی[2] نیز هیچگونه حفاظتی در دیواره‌های گود وجود ندارد و پایداری لازمه مبتنی بر مشخصات خاک و مشخصات هندسی پله‌های موجود می‌باشد. در این روش نیز مشابه با توجه به عدم وجود قیود حفاظتی، فضای داخل گود اشغال نشده و محدودیت‌های فضای کاری بوجود نمی‌آید. این روش نیز از روش‌های خاکبرداری بدون حفاظت بوده لذا عوامل موثر در پایداری کلی سیستم خاک و تغییر شکلهای ایجاد شده همان عوامل ذکر شده در روش خاکبرداری با مقطع شیبدار هستند.

1. loamy sand
2. benching excavation

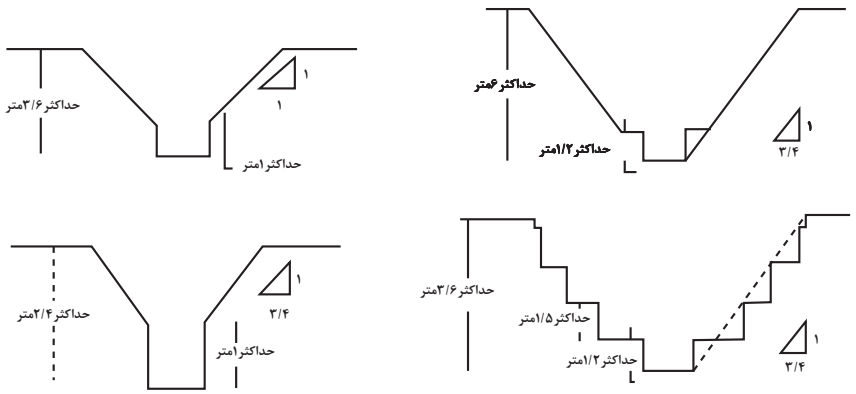


شکل ۱-۱۰۷ اجزای خاکبرداری با مقطع پلکانی

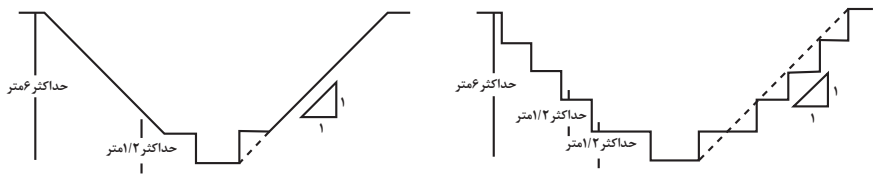
شکل ۱-۱۰۸ تصویری از خاکبرداری با مقطع پلکانی

اصولاً شیب و هندسه پله‌ها در این روش نیز باید براساس تئوری‌های تعادل حدی در مکانیک خاک و تحلیل پایداری شیروانی خاکی با عنایت به پارامترهای مقاومتی خاک صورت پذیرد لکن در عمل برای تخمین شیب و هندسه پله‌ها می‌توان از ضوابط مطرح شده در آیین‌نامه‌های گودبرداری نظیر استاندارد OSHA و سایر آیین‌نامه‌های معتبر گودبرداری در دنیا استفاده نمود.

استاندارد OSHA، برای خاکبرداری‌هایی با مقطع پلکانی نیز مشابه خاکبرداری با مقطع شیبدار، مقادیر تخمینی هندسی پله‌ها طبق اشکال زیر برای حالات تک‌پله‌ای ساده[1] و چند پله‌ای[2] براساس طبقه‌بندی انواع خاک‌های تبیین شده، ارائه می‌کند:



شکل ۱-۱۰۹ خاکبرداری با مقطع پلکانی در خاک نوع A



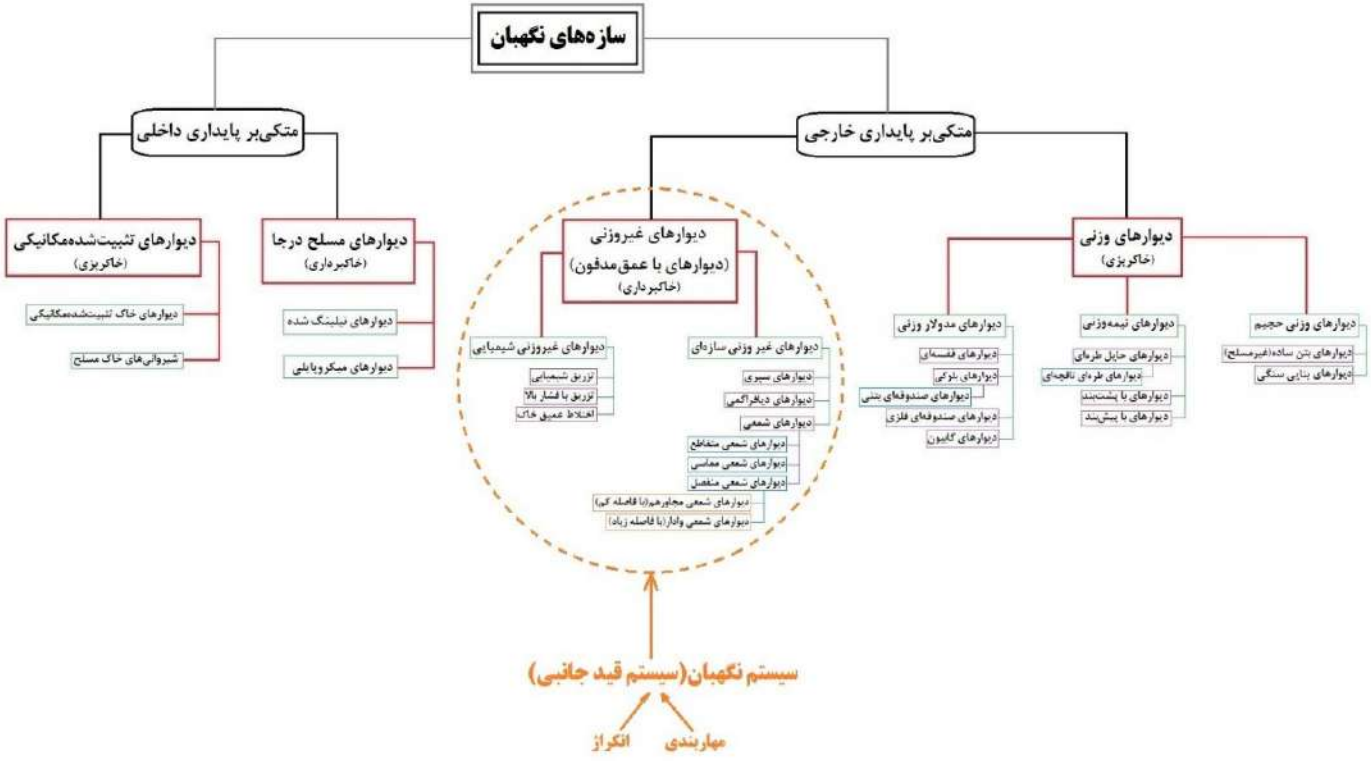
شکل ۱-۱۱۰ خاکبرداری با مقطع پلکانی در خاک نوع B

۱-۸- گودبرداری حفاظت شده

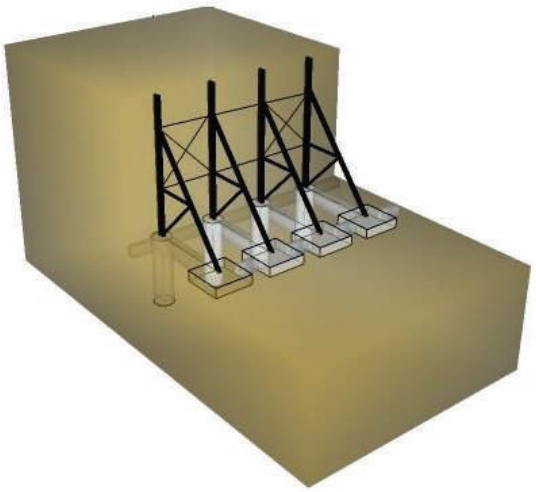
۱-۸-۱- حفاظت مبتنی بر سازه‌های نگهبان

در این روش حفاظت گودبرداری مبتنی بر سازه‌های نگهبان[3] می‌باشد که طبقه بندی آن در بخش۱-۶ معرفی شد. از بین سازه نگهبان‌های عنوان شده در آن بخش، سازه‌های نگهبان ملزم به خاکبرداری، در روشهای مختلف گودبرداری و پایدارسازی دیواره‌های گود بکار گرفته می‌شوند. در این بین در دیوارهای حایل با عمق مدفون اگر عمق گودبرداری کم باشد و دیوار حایل بتواند صرفاً با عملکرد طره‌ای پایداری لازم را تأمین کرده و معیار تغییرشکل را نیز اقناع نماید، می‌توان این سیستم را بکار گرفت اما چنانچه عمق گود و یا سربار همجوار گود زیاد شود لازم است از سیستم نگهبان کمک گرفت تا این قیود جانبی در تأمین پایداری و کنترل تغییر شکل دیواره دخیل شوند.

1. Simple bench
2. Multiple bench
3. Earth Retaining structures



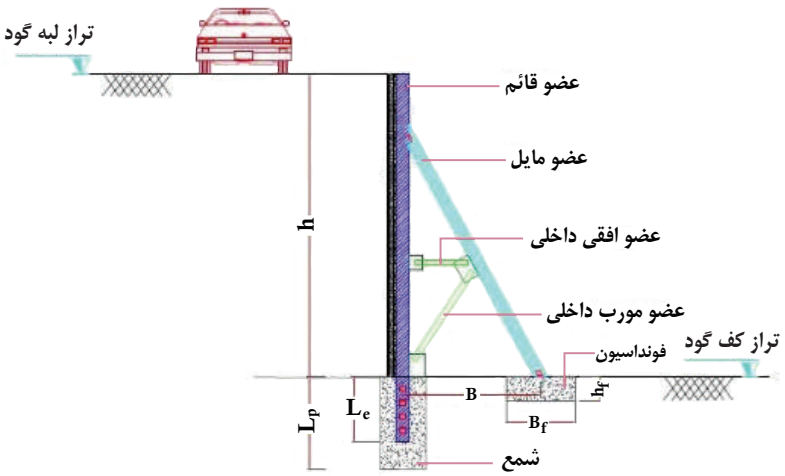
شکل ۱-۱۱۱ طبقه‌بندی سازه‌های نگهبان(شکل تکراری)



شکل ۱-۱۱۵ شمای کلی سازه نگهبان خرپایی

لازم به ذکر است در شکل فوق، ساختار اصلی سازه‌نگهبان‌خرپایی نشان داده شده‌است و جزئیاتی از قبیل مهاربندی اعضای مایل و جداربند[1] واقع در حد فاصل خرپاها نشان داده نشده است.

با توجه به محوریت موضوعی این کتاب، در ادامه به معرفی اعضای سازه‌نگهبان‌خرپایی و عنوان‌گذاری ابعاد هندسی آن می‌پردازیم:



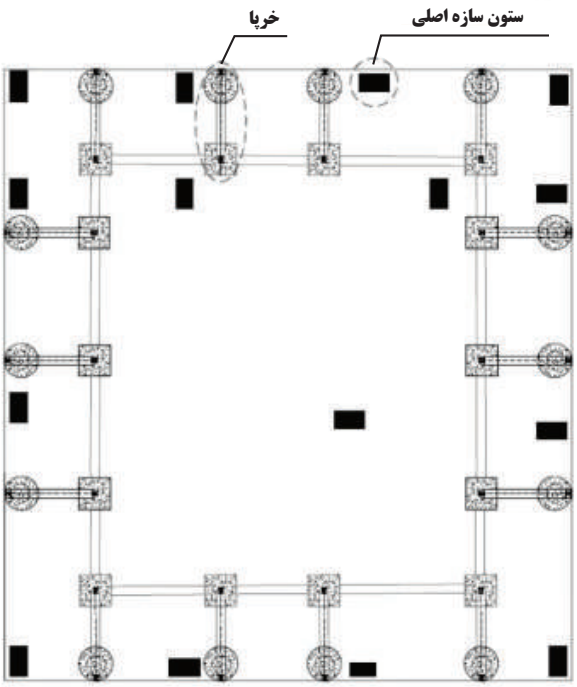
شکل ۱-۱۱۶ اعضای سازه‌نگهبان خرپایی

فرآیند کلی اجرای سازه نگهبان خرپایی به شرح زیر است:

۱- جانمایی سازه‌نگهبان‌های‌خرپایی: چیدمان و آرایش قرارگیری سازه نگهبان‌های خرپایی در پلان باید به نحوی باشد تا تداخلی با ستون‌های ساختمان در دستِ احداث نداشته باشد تا مزاحمتی برای اجرای

1. lagging

سازه اصلی ساختمان بوجود نیاورد. حد فاصل سازه نگهبان خرپایی (L) مقداری در حدود فاصله‌ی بین ستون های ساختمان در حال احداث و در انواع متداول آن، مقداری در حدود ۳ الی ۵ متر می‌باشد.



شکل ۱-۱۱۷ جانمایی سازه‌نگهبان‌های خرپایی در پلان ستون گذاری سازه اصلی

۲- حفر چاه: در محل اعضای قائم خرپاها در مجاورت دیواره گود و منتهی الیه زمین در حریم پروژه، میله‌ی چاه‌ها حفر می‌شوند.

عمق چاه: عمق این چاه‌ها از تراز لبه گود برابر با عمق گود بعلاوه طول شمع می‌باشد $L_s=h+L_p$

قطر چاه: با توجه به شرایط و امکانات موجود در کارگاه، معمولاً حفر چاه بصورت دستی و توسط مقنی صورت می‌گیرد، بدین منظور قطر چاه در حدود ۸۰ الی ۱۰۰ سانتیمتر در نظر گرفته می‌شود تا امکان کارکرد مقنی در میله چاه فراهم آید.

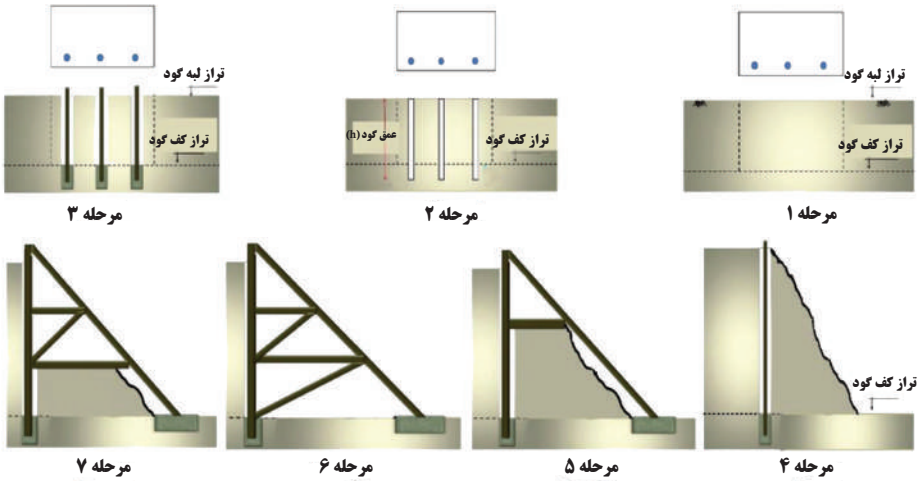
۳- اجرای عضو قائم خرپایی: پس از ساخت قفسه شمع، مجموعه‌ی عضو قائم و قفسه شمع در داخل چاه نصب شده و بتن ریزی شمع صورت می‌پذیرد.

۴- اجرای شالوده عضو مایل: ضمن عملیات گودبرداری تا رقوم کف گود با شیب پایدار، بِرم خاکی موقت محافظ ایجاد گردیده و شالوده عضو مایل اجرا می‌گردد.

۵- اجرای عضو مایل: عضو مایل از یکسو به عضو قائم و از سوی دیگر به کف‌ستون[1] واقع بر شالوده متصل می‌گردد.

1. base plate

۶- تکمیل اعضای سیستم خرپایی: با خاکبرداری مرحله‌ای، تا محل اعضای داخلی، به ترتیب اعضای داخلی خرپا و مهاربندها بهمراه اعضای صفحه‌ای محافظ خاک موسوم به جداربند[1] دیواره از بالا به پایین اجرا می‌شوند.



شکل ۱-۱۱۸ توالی مراحل اجرای سازه‌نگهبان خرپایی

لازم به توضیح است فرآیند مزبور به‌صورت تفصیلی در فصول آتی کتاب تبیین شده است و در این فصل جهت پرهیز از اطاله کلام، صرفاً به این بیان اجمالی بسنده شده است.

همانگونه که مشاهده گردید؛ در روش مهاربندی با مهار مایل و سازه‌نگهبان‌خرپایی، مهار مایل و عضو مایل خرپایی با تکیه بر فونداسیون واقع بر کف گود، شرایط پایداری و انتقال نیرو را فراهم می‌آوردند اما در روش مهاربندی با اِستِرات این امر از طریق اِستِرات و تعامل و تعادل ایجاد شده بین دو دیوار حایل میسر می‌گردد.

۲-۱-۸-۱- سیستم سازه‌نگهبان از نوع اَنکِراژ

چنانچه از سیستم‌های انکراژ[2] یا همان سیستم دوخت‌به‌پشت[3] که در پشت دیوارهای حایل در سمت خاک قرار می‌گیرند بعنوان سیستم نگهبان استفاده شود، به آن سیستم حفاظتی گودبرداری در اصطلاح گودبرداری انکراژشده[4] اطلاق می‌شود و به دیوار حاصله‌ی پایدار شده بدین روش، دیوار انکراژشده[5] گفته می‌شود. همانطور که قبل‌تر بیان شد، در سیستم انکرها بسته به شرایط پروژه

1. Lagging wall
2. Anchorage systems
3. tieback
4. Anchored excavation
5. Anchored wall

و روش اجرا، می‌توان از اَنْکِر مدفون (مهار مدفون) [1] و یا اَنْکِر خاکی (مهار در خاک) [2] استفاده نمود که استفاده از اَنْکِرهای خاکی بعنوان سیستم سازه‌نگهبان رایج‌تر است که در ادامه بدین نوع از اَنْکِر می‌پردازیم.

در واقع اَنْکِر خاکی یک جزء سازه‌ای تزریق شده‌ی پیش‌تنیده [3] است که در خاک یا سنگ نصب شده و بار کششی وارده را از طریق تاندون به توده‌ی خاک منتقل می‌کند.

تاندون‌های پیش‌تنیدگی از حیث مصالح فولادی سازنده، به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند، که عبارتند از:

شکل ۱-۱۱۹ تاندون‌های پیش‌تنیدگی؛ (الف) تاندون‌های میلگردی، (ب) تاندون‌های کابلی(اِسْتِرَند)

۱- تاندون‌های میلگردی [4] که متشکل از میلگردهای ویژه‌ی پیش‌تنیدگی هستند. وقتی از این تاندون‌ها استفاده می‌شود، سیستم حاصله مُونُوبار اَنْکِر [5] نام می‌گیرد.

۲- تاندون‌های کابلی که متشکل است از رشته‌های فولادی(اِسْتِرَند) [6]. وقتی از این تاندون‌ها استفاده می‌شود، سیستم حاصله مولتی اِسْتِرَند اَنْکِر [7] نام می‌گیرد.

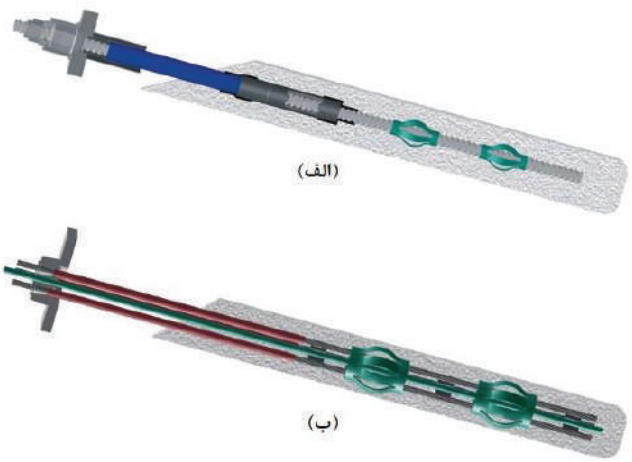
---

1. Deadman anchor
2. ground anchor
3. prestressed
4. bar tendon
5. monobar anchoring

توضیح: معادل فارسی Monobar، تک‌میلگردی است. در کاربردهای مهندسی در ایران، معمولاً از عنوان انگلیسی مونوبار استفاده می‌شود و استفاده از معادل فارسی مذکور رایج نیست.

6. strand
7. multi-strand anchoring

توضیح: معادل فارسی multi-strand، کابل‌های چندرشته‌ای است. در کاربردهای مهندسی در ایران، معمولاً از عنوان انگلیسی مولتی‌استرند استفاده می‌شود و استفاده از معادل فارسی مذکور رایج کمتر رایج است.



شکل ۱-۱۲۰ **انْکر؛ (الف) مُونُوبار اَنْکِر، (ب) مولتی اِسْتِرَند اَنْکِر**

همانطور که در ابتدای این بخش عنوان شد اغلب از دیوارهای حایل با عمق مدفون در سیستم حفاظت مبتنی‌بر سازه‌نگهبان استفاده می‌شود و در سیستم سازه‌نگهبان از نوع اِنْکراژ، از بین این دیوارهای حایل، به ترتیب دیوارهای شمعی و دیوارهای سپری نسبت به سایر موارد، رایج‌تر می‌باشند. همچنین می‌توان در دیوارهایی با رویه‌ی شاتکریتی اِنْکرها را بر روی بلوک بتنی یا پَد اجرا نمود. که بعضاً به آن، سیستم بلوک و مهار گفته می‌شود. پَدها به دو شکل روکار و توکار قابل اجرا هستند. پَدهای روکار می‌توانند بصورت بتنی یا فولادی باشند و پَدهای توکار بصورت بتنی اجرا می‌شوند.

شکل ۱-۱۲۱ **تصاویری از اجرای پَد؛ (الف) پَد بتنی روکار، (ب) آماده سازی پَد بتنی توکار**

مراحل اجرای متداول روش اَنْکِر مشابه روش نیلینگ است که در ادامه عنوان گردیده است:

۱ - خاکبرداری: خاکبرداری اولیه تا عمقی کمتر از عمق بحرانی صورت می‌گیرد، این عمق حدوداً ۱ تا ۲ متر بوده و قدری پایین‌تر از محل نصب اَنْکِرها می‌باشد.

۲- حفاری گمانه‌های اَنْکِر: حفاری گمانه‌ها توسط دستگاه حفاری موسوم به دریل واگُن با قطر حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر و طول و زاویه مشخص شده در طرح، صورت می‌گیرد.

۳- استقرار اَنْکِر و تزریق دوغاب: اَنْکِرهای از پیش‌تهیه شده درون گمانه قرارداده شده و عملیات تزریق دوغاب صورت می‌گیرد.

۴- اجرای رویه‌شاتکریتی موقت: بر روی جداره مورد نظر، نوار ژئوکامپوزیتی[1] جهت زهکشی دیواره و شبکه سیمی جوشی (مِش) جهت تسلیح دیواره، نصب و سپس بتن پاششی (شاتکریت) اجرا می‌گردد.

۵- اجرای صفحه باربَر و پیش‌تنیدگی اَنْکِر: صفحه باربَر روی سر بیرون زده اَنْکِر قرارداده شده و اَنْکِر تحت کشش قرار می‌گیرد.

توجه: مراحل مزبور تا رسیدن به رقوم انتهایی گودبرداری تکرار می‌شود. شایان ذکر است مراحل فوق ممکن است بسته به شرایط پروژه تغییر کند، مثلاً پس از خاکبرداری اولیه جهت اجتناب از ریزش جداره، بلافاصله رویه شاتکریتی انجام شده و سپس حفاری و تزریق صورت پذیرد.

۶- اجرای رویه دائمی: در صورتی که سیستم دائمی پایدارسازی دیواره گود مدنظر باشد. رویه دائمی که نقش دیوار حایل سازه‌ای را ایفا می‌کند، اجرا خواهد شد.

۲-۸-۱- حفاظت مبتنی بر تکنیک ساخت

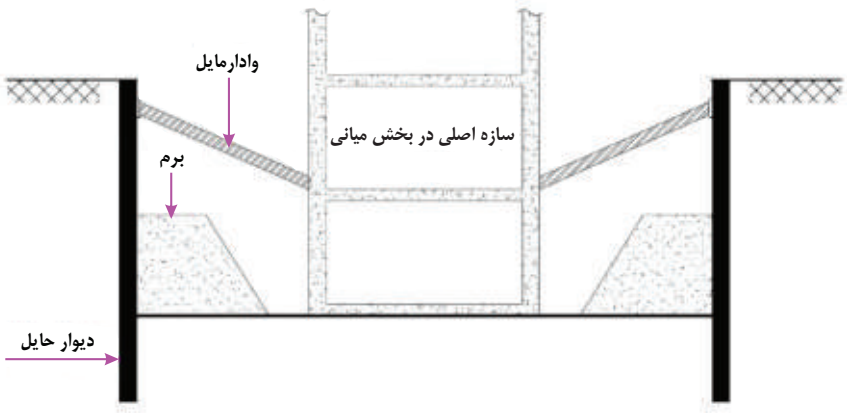
۲-۸-۱-۱- روش ساخت جزیره‌ای

در روش ساخت جزیره‌ای[2]، پایدارسازی دیواره گود با استفاده از سیستم نگهبان مهاربندی[3] و کمک از سازه هسته‌ی میانی صورت می‌پذیرد، بدین صورت است که؛ ابتدا گودبرداری بخش میانی ساختگاه با نگهداشتن خاک کنار دیواره گود به‌صورت شیبدار یا پله‌ای(ایجاد بِرم[4]) تا رقوم کف گود انجام می‌شود و سازه اصلی در بخش میانی احداث می‌گردد. سپس خاک کنار دیواره گود بصورت مرحله‌ای بعد از اجرای قیود سیستم مهاربندی بین سازه اصلی و دیواره، برداشته می‌شود. در مرحله پایانی، پس از ساخت بخش باقیمانده‌ی پیرامونی سازه اصلی، نسبت به برچیدن قیود سیستم مهاربندی اقدام می‌گردد.

در این فرآیند بسته به عمق گودبرداری، از یک یا چند وادار مایل[5] همراه با روش بِرم برای دستیابی به رقوم کف گود استفاده می‌شود.

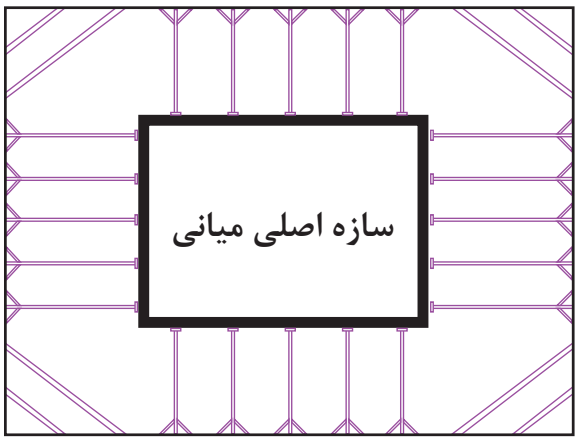
---

1. geocomposite strips
2. Island Construction Method
3. Bracing systems
4. berm
5. raking prop, raker



شکل ۱-۱۲۲ روش ساخت جزیره‌ای؛ مقطع گودبرداری کم‌عمق با یک وادار مایل و بِرم خاکی محافظ

شایان ذکر است، در صورتی می‌توان از روش گودبرداری جزیره‌ای برای پایداری گود استفاده نمود که فضای ساختگاه مورد نظر به اندازه کافی وسیع باشد تا بتوان گودبرداری بخش میانی را محقق نمود. همچنین سازه اصلی نیز باید از شرایط لازم جهت اجرای این روش برخوردار باشد، به‌عنوان مثال برای یک سازه اسکلت فلزی وقتی این روش گودبرداری معنا پیدا می‌کند که حداقل چهار دهانه تیرگذاری وجود داشته باشد تا بتوان از دو دهانه میانی به‌عنوان هسته مرکزی استفاده نمود.



شکل ۱-۱۲۳ روش ساخت جزیره‌ای؛ پلان گودبرداری

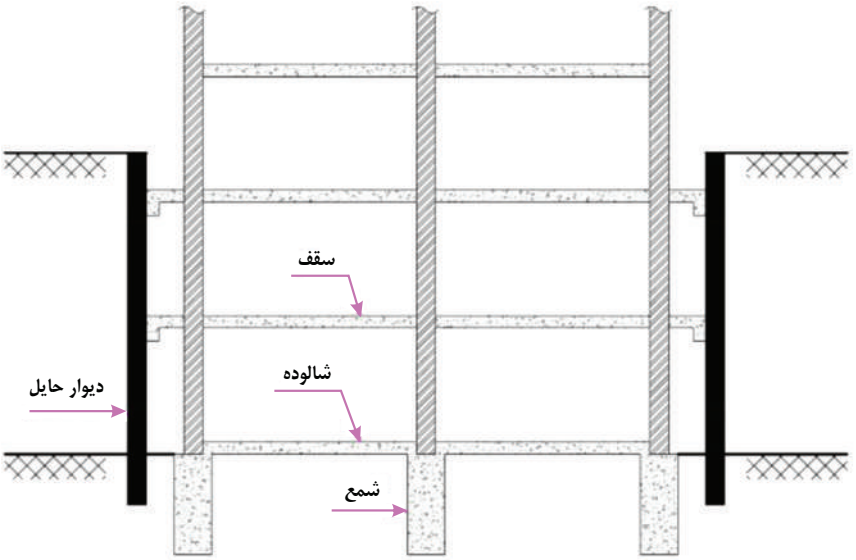
۲-۲-۸-۱- روش ساخت بالا-پایین

در روش گودبرداری مهاربندی شده همانند مهار متقابل، انجام عملیات گودبرداری تا عمق طراحی انجام می‌گردد. سپس پی گسترده در کف گود اجرا گردیده، آنگاه قیدهای فشاری برچیده شده و در ادامه سقف طبقات زیرزمین یکی پس از دیگری ساخته می‌شوند. در این حالت سازه از پایین به

بالا ساخته می‌شود که این روش متداولترین روش ساخت است و معمولاً روش ساخت از پایین به بالا نامیده می‌شود.

در روش‌های متداول ساخت، ابتدا عملیات گودبرداری تا رقوم کف گود صورت گرفته و پس از احداث شالوده، سازه زیرزمینی از پایین تا بالا اجرا می‌شود که به روش ساخت از پایین به بالا[1] معروف است.

در روش ساخت بالا-پایین[2] بر خلاف روش ساخت از پایین به بالا، پس از هر مرحله گودبرداری و دستیابی به تراز سقف سازه‌ای، ابتدا سقف اجرا می‌شود. در واقع این سقف حکم اِسترات را در روش مهاربندی دارد. بدین ترتیب زیر سازه از بالا به پایین اجرا می‌شود. همچنین این امکان وجود دارد که همزمان با اجرای زیرسازه[3]، روسازه[4] نیز در بخش فوقانی احداث گردد که البته اثر آن باید در فرآیند طراحی دیده شود. در این روش استفاده از شمع بعنوان پی، گزینه مناسبی بشمار می‌رود.



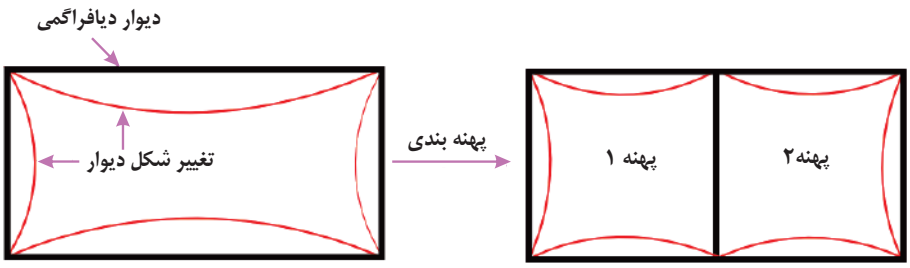
شکل ۱-۱۲۴ اجزای روش ساخت بالا-پایین

1. Bottom-up construction method
2. Top-Down construction
3. sub-structure
4. super-structure

شکل ۱-۱۲۵ تصویری از روش ساخت بالا-پایین

۳-۲-۸-۱- روش ساخت پهنه‌بندی‌شده

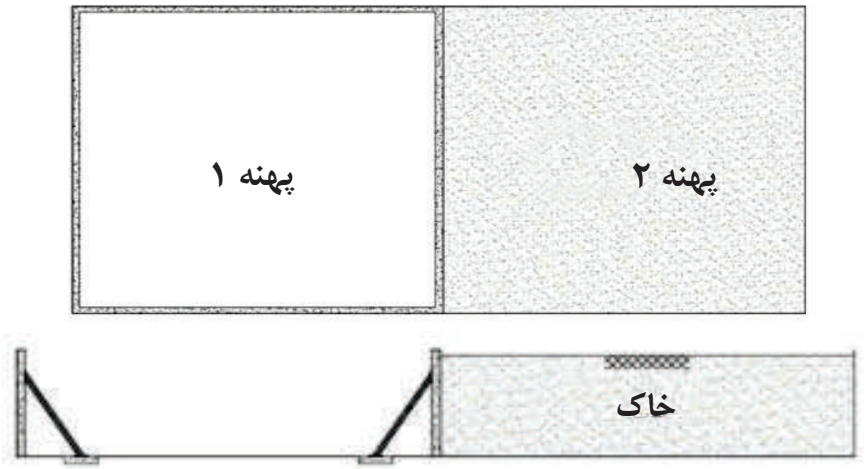
چنانچه از دیوار دیافراگمی بعنوان دیوار حایل در گودبرداری استفاده شود، در اثر پدیده قوس‌زدگی[1]، تغییر شکل کمتری در کُنج‌های محدب ها حادث می‌شود. در روش ساخت پهنه‌بندی‌شده[2] از مزیت مزبور، استفاده نموده و با افرازبندی گود، و ایجاد کُنج محدب، تغییر شکل‌ها کاهش می‌یابد.



شکل ۱-۱۲۶ پلان نمایش مکانیزم تقلیل تغییرشکل دیوار در اثر پهنه‌بندی

بعنوان مثال، همانگونه که در شکل۱-۱۲۶ مشاهده می‌شود، محدوده پلان گودبرداری، به دو پهنه‌ی ۱ و ۲ تقسیم‌بندی شده است. ابتدا پهنه‌ی۱ تا عمق مشخصی گودبرداری می‌شود در حالیکه پهنه۲ هنوز گودبرداری نشده است، بدین ترتیب پهنه۱ همانند یک گودبرداری با ابعاد کوچک است که خاک واقع در سمت چپ پهنه‌ی۲ در حکم تکیه‌گاه برای آن عمل می‌کند.

1. Arching Effect
2. zoned-construction method



شکل ۱-۱۲۷ پلان و نمای گودبرداری در پهنه۱

سپس همین فرآیند برای پهنه۲ صورت می‌پذیرد تا عملیات گودبرداری به اتمام برسد.

۱-۹- حفاظت از ابنیه‌های همجوار گود

یکی از مهمترین دغدغه‌های موجود در حین گودبرداری‌های شهری، محافظت از ساختمان‌های همجوار گودبرداری است، علی‌الخصوص زمانی‌که ساختمان‌های مزبور از کفایت سازه‌ای مناسب برخوردار نباشند و یا دارای قدمت بالایی باشد.

بطور کلی، محافظت از ابنیه‌های همجوار در حین گودبرداری به سه فرآیند تقسیم‌بندی می‌شود:

- برنامه‌ریزی‌های قبل از گودبرداری
- پایش و پیشگیری‌های در حین ساخت
- جبران خسارات وارده پس از وقوع آسیب

مهمترین اقدام قبل از گودبرداری انجام تحقیقات زمین‌شناسی جامع است تا بتوان بر مبنای آن فرآیند تحلیل و طراحی را بدرستی طی نمود. در این مرحله لازم است از ساختمان‌های همجوار بازدید بعمل آمده و وضعیت فعلی ساختمان موجود ثبت و مستندات لازم در این خصوص تهیه شود.

در حین عملیات گودبرداری لازم است با اتخاذ سیستم پایش مناسب در مجاورت گود، شرایط و وضعیت همجواری اعم از تغییرشکل‌های دیوار حایل و پدیده بالازدگی در خاک‌های رسی کنترل شوند. تا بتوان در صورت وجود ضعف در سیستم حفاظتی، قبل از وقوع آسیب تمهیدات لازم را بکار گرفت.

پس از وقوع آسیب و بروز خسارت، علاوه بر اتخاذ اقدامات و تمهیدات مناسب جهت جلوگیری از گسترش خرابی، لازم است نسبت به جبران خسارات وارده اقدام نمود.

در واقع مباحث مرتبط با حفاظت از ابنیه‌های همجوار گود، مباحث گسترده‌ای است که خارج از اهداف این کتاب و بخصوص این فصل می‌باشد. لذا توصیه می‌شود علاقه‌مندان به منابع مربوطه در این مقوله مراجعه نمایند، بعنوان یکی از این منابع می‌توان از کتاب گودبرداری عمیق[1] به‌تحریر چانگ یو او[2] یاد نمود. لیکن در بین این مباحث مقوله‌ی پی‌بندی و روبندی با ساختار این کتاب نسبتاً قرابت داشته لذا در ادامه صرفاً به پرداختن این مورد بسنده می‌شود.

۱-۹-۱- پی‌بندی و روبندی

پی‌بندی[3] به‌معنای انتقال بار پی ساختمان موجود به لایه‌های خاک با مقاومت بیشتر واقع در عمق پایین‌تر با هدف تقویت[4] فونداسیون موجود می‌باشد در حالیکه روبندی[5] نوعی تکیه‌گاه خارجی برای ساختمان مجاور بوجود می‌آورد.

در واقع پی‌بندی و روبندی روش پایدارسازی دیواره‌ی گود محسوب نمی‌شوند بلکه از زمره‌ی روش‌های تکمیلی به منظور تقویت ساختمان همجوار می‌باشند که می‌توانند در گودبرداری بکار گرفته شوند و استفاده از این اعضا بعنوان سازه‌نگهبان مجاز نیست.

در مراجع تخصصی، بسته به شرایط پروژه، روش‌ها و جزئیات گوناگونی برای پی‌بندی و روبندی آورده شده است که در اینجا مختصراً به برخی از بین موارد اشاره می‌شود.

روش‌های پی‌بندی که با هدف تقویت فونداسیون موجود و تأمین یکپارچگی[6] آن، عموماً جهت تقلیل نشست‌های محتمل صورت می‌گیرد را می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم‌بندی نمود:

۱- تقویت ژئوتکنیکی پی: در تکنیک‌های مرتبط با تقویت ژئوتکنیکی خاک زیر فونداسیون ساختمان همجوار به طُرُق ژئوتکنیکی تقویت می‌گردد. از جمله‌ی این تکنیک‌ها عبارتند از:

- تزریق
- میکروپایل

---

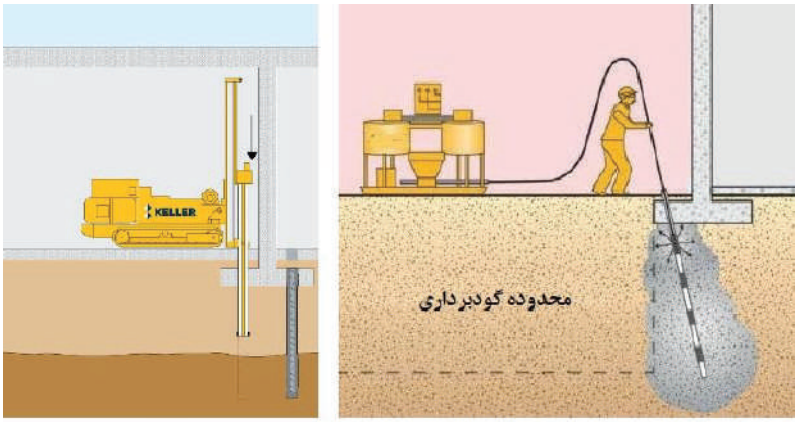
1. Deep Excavation
2. Chang-Yu Ou
3. Underpinning

توضیح: بعضاً معادل‌های فارسی، زیربندی و نیز تقویت زیر پی برای این عنوان استفاده می‌شود.

4. strengthening
5. Shoring

توضیح: بعضاً معادل‌های فارسی، شمع‌بندی و یا شمعک‌زنی برای این عنوان استفاده می‌شود.

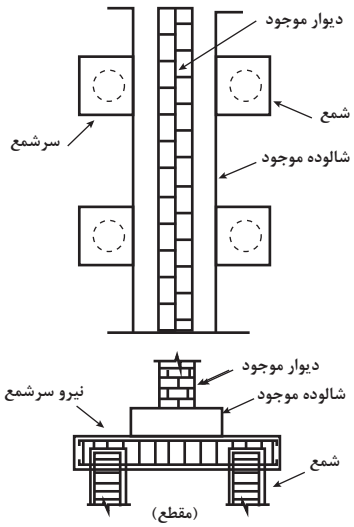
6. integrity



شکل ۱-۱۲۸ تقویت ژئوتکنیکی؛ (الف) تزریق، (ب) میکروپایل

۲- تقویت سازه‌ای شالوده: در تکنیک‌های مرتبط با تقویت سازه‌ای شالوده، شالوده ساختمان همجوار به طُرُق سازه‌ای تقویت می‌گردد. از جمله‌ی این تکنیک‌ها عبارتند از:

- افزایش ابعاد شالوده ساختمان همجوار موجود
- افزودن شالوده جدید به شالوده ساختمان همجوار موجود
- افزودن شناژ به شالوده ساختمان همجوار موجود
- تعبیه پایه در زیر شالوده ساختمان همجوار موجود
- تعبیه شمع در زیر شالوده ساختمان همجوار موجود



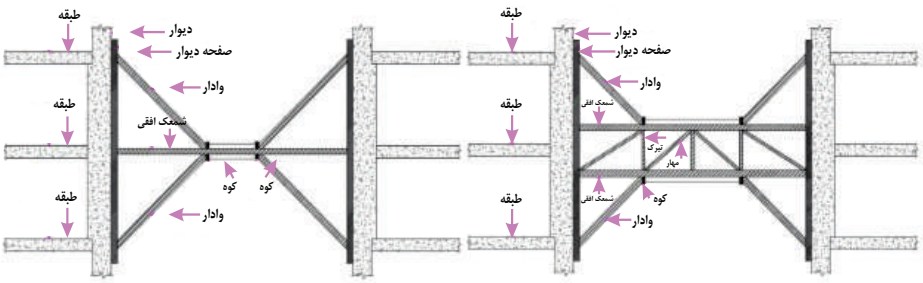
شکل ۱-۱۲۹ تعبیه شمع در زیر شالوده‌ی سابق موجود

روش‌های روبندی که با هدف حفاظت جانبی ساختمان همجوار موجود از طریق تأمین تکیه‌گاه خارجی برای آن، عموماً جهت تقلیل رانش‌های محتمل صورت می‌گیرد را می‌توان به سه گروه اصلی تقسیم‌بندی نمود:

- شمعک‌های مایل[1]
- شمعک‌های افقی[2]
- شمعک‌های عمودی[3]

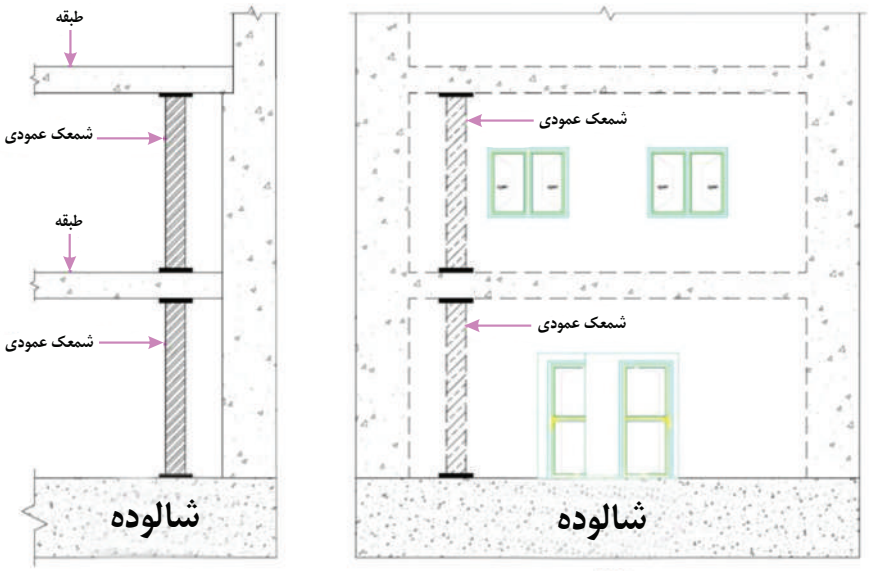
هر یک از انواع شمعک‌های مزبور، می‌توانند بصورت تک عضوی یا خرپایی بکار گرفته شوند.

شکل ۱-۱۳۰ شمعک‌های مایل؛ (الف) تک عضوی، (ب) خرپایی



شکل ۱-۱۳۱ شمعک‌های مایل؛ (الف) تک عضوی، (ب) خرپا فضایی، (ج) نمای مقطع خرپایی منفرد و جفت

1. Raking Shores, Inclined Shores
2. Flying Shores, Horizontal Shores
3. Dead Shores



شکل ۱-۱۳۲ شمعک‌های عمودی

نحوه‌ی اجرای سازه نگهبان خرپایی و مهار متقابل

فصل دوم

۱- نحوه اجرای سازه نگهبان خرپایی

۲- نحوه اجرای سازه نگهبان مهار متقابل

۳- جمع آوری سازه نگهبان خرپایی و مهار متقابل

۲-۱- هدف گذاری فصل

۱- آشنایی با اجزای تشکیل دهنده و حالت‌های مختلف سازه نگهبان خرپایی و مهار متقابل

۲- گام‌های اجرایی در ساخت و نصب و پایدار سازی گود با سازه نگهبان خرپایی و مهار متقابل

۳- نکات اجرایی مهم در هنگام اجرای سازه نگهبان خرپایی و مهار متقابل

۴- شناخت کامل از عملیات اجرایی و آماده شدن برای تحلیل و طراحی سازه نگهبان خرپایی و مهار متقابل در فصول آتی

۲-۲- مقدمه

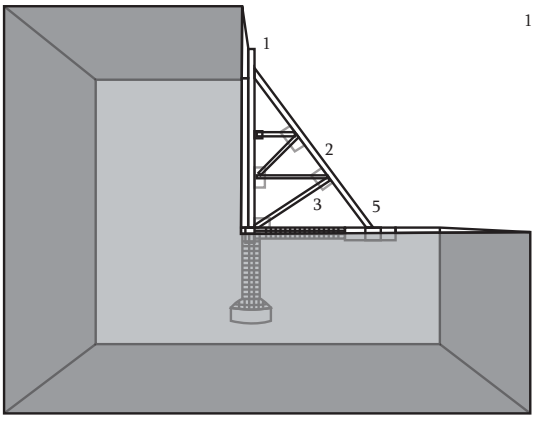
زمانی که حوادث ناشی از گود برداری‌های غیر اصولی را بررسی می‌کنیم با مواردی مواجه می‌شویم که در آنها تحلیل و طراحی سازه نگهبان به درستی انجام شده است اما به دلیل اجرای اشتباه و غیر اصولی این سازه‌ها حوادث تلخی رخ داده است. در این فصل به تشریح روند اجرایی سازه نگهبان خرپایی و مهار متقابل و نکات اجرایی آن می‌پردازیم. به دو دلیل عمده این فصل در کتاب حاضر گنجانده شده: ۱- آشنایی کامل با روند اجرای روش سازه نگهبان خرپایی و روش مهار متقابل برای مهندسین مجری ۲- یک طراح سازه باید ابتدا یک مجری حرفه‌ای باشد تا بتواند به صورت بهینه و ایمن یک سازه را طراحی نماید.

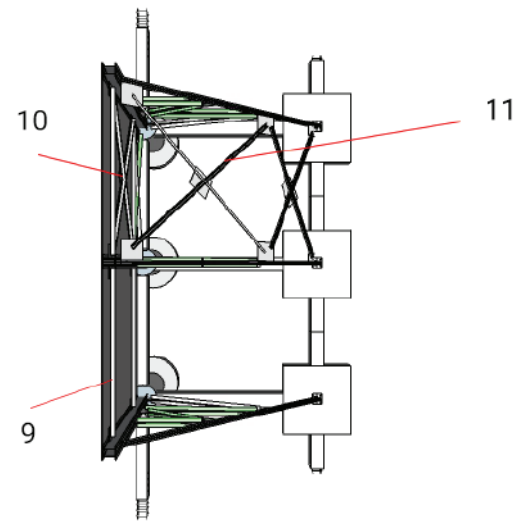
خوانندگان محترم می‌توانند با مراجعه به سایت www.Retainingstructures.ir به منابع و مراجع به کار رفته در این فصل دسترسی پیدا کنند.

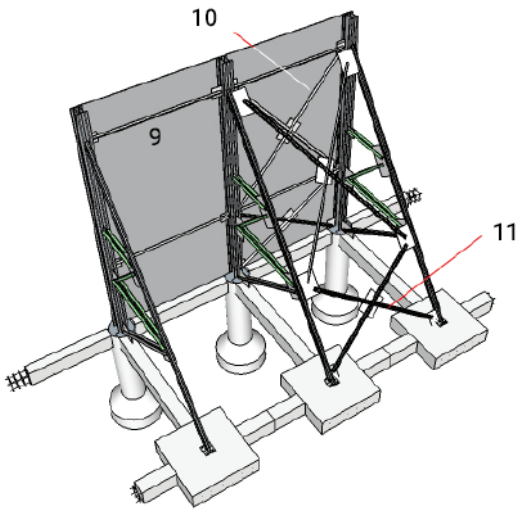
۲-۳- نحوه اجرای سازه نگهبان به روش خرپایی

۲-۳-۱- اجزای تشکیل دهنده یک سازه نگهبان خرپایی

در شکل شماره ۲-۱ نمایی از یک سازه نگهبان خرپایی را به صورت دو بعدی و سه بعدی مشاهده می‌کنید. در این شکل اجزا شماره گذاری شده‌اند و سپس با توجه به این شماره گذاری هر یک از این اجزا معرفی می‌شوند.







شکل ۲-۱ **معرفی اجزای سازه نگهبان خرپایی**

۱: عضو قائم ۲: عضو مایل ۳: اعضای مورب و افقی خرپا ۴: شناژها

۵: پی منفرد

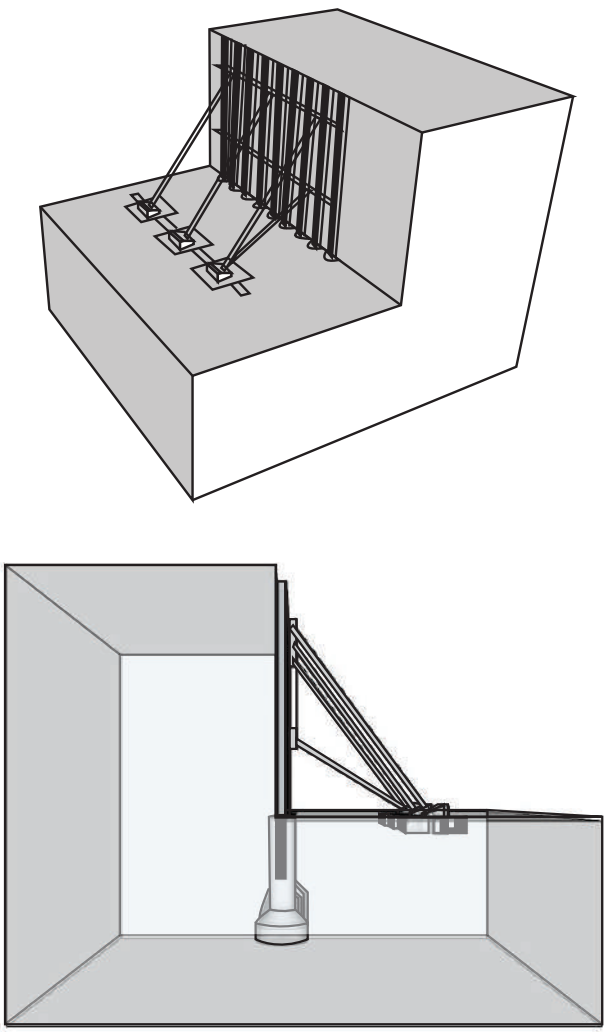
۶: شمع (در این شکل شمع‌ها به صورت پافیلی نمایش داده شده‌اند ولی شمع‌ها می‌توانند به صورت ساده نیز اجرا گردد)

۷: برش گیرهای نصب شده بر روی عضو قائم

۸: پوسته‌ی انتقال دهنده‌ی فشار جانبی خاک به سازه نگهبان (Facing)

۹: تیرهای عرضی میان خرپایی ۱۰: مهاربندهای قائم میان خرپایی ۱۱: مهاربندهای مورب میان خرپایی

در برخی کشورها نوعی از سازه نگهبان خرپایی متعارف می‌باشد که در ایران نیز در بعضی از پروژه‌ها از آنها استفاده می‌شود به صورت کلی به این سبک از سازه نگهبان خرپایی Raker گفته می‌شود.



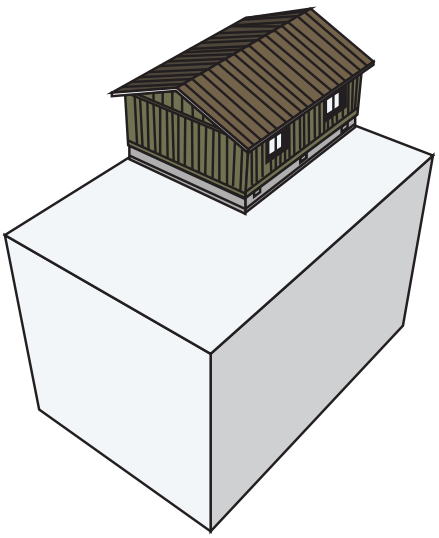
شکل ۲-۲ نمونه‌ای از سازه نگهبان به صورت raker

وظایف و عملکرد هر یک از اعضای سازه نگهبان خرپایی در بخش تحلیل و طراحی به تفصیل بیان خواهد شد اما برای آشنایی بیشتر به شرح مختصری از عملکردهای اعضا می‌پردازیم.

به صورت کلی انتقال بار جانبی خاک از طریق پوسته انتقال دهنده بار (عضو شماره ۸ - Facing) و بدنه‌ی عضو قائم و تیرهای عرضی میان خرپایی و مهاربندهای قائم میان خرپایی تجمیع شده و به عضو قائم (عضو شماره ۱) انتقال داده می‌شود سپس این عضو وظیفه دارد بخشی از نیروهای وارده را از طریق شمع انتهایی خود به خاک منتقل کرده و بخش دیگری از بار را از طریق عضو مورب (عضو شماره ۲) و اعضای مورب و افقی خرپا (عضو شماره ۳) به پی منفرد سازه نگهبان (عضو شماره ۵) انتقال دهد.بارهای وارده به عضو مورب نهایتا از طریق پی منفرد و شناژهای متصل کننده به خاک منتقل می‌شود. همین فرآیند انتقال بار برای سازه‌هایRaker نیز وجود دارد با این تفاوت که در این سازه‌ها اعضای مورب و افقی میان خرپایی وجود ندارند و بار از طریق عضو قائم و عضو مورب انتقال می‌یابد.

۲- ۳- ۲- گام‌های عملیاتی برای پایدار سازی گود برداری به روش سازه نگهبان خرپایی

۱- بازدید از املاک مجاور گود برداری

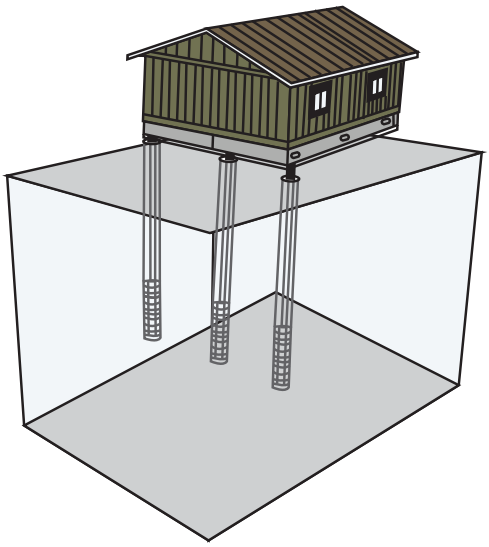


شکل ۲-۳ سایت پروژه

۲- بررسی دقیق نقشه‌های ارسالی از طرف طراح سازه یا طراح ژئوتکنیک برای اجرای سازه نگهبان و کنترل‌های تداخل احتمالی بین اعضا

۳- نقشه برداری و تعیین محل حفاری چاه‌ها

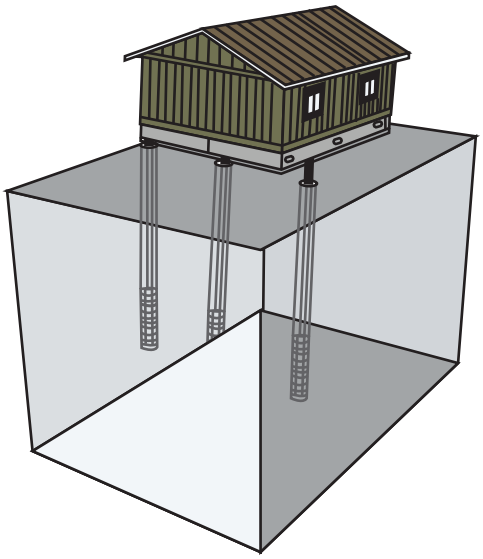
۴- شروع حفاری چاه‌ها مطابق شکل شماره ۲-۴



شکل ۲-۴ حفاری چاه‌های اعضای قائم

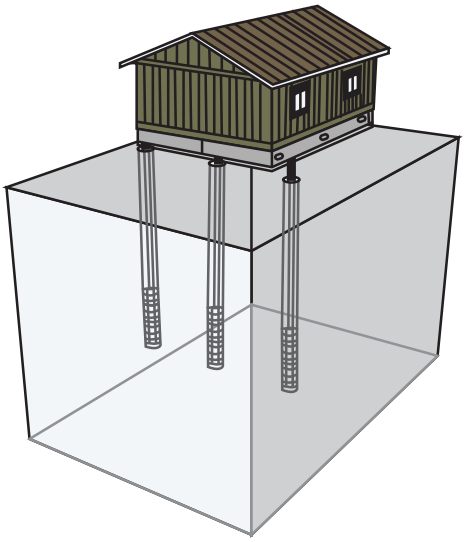
۵- ساخت اعضای فولادی قائم و آماده سازی قفس آرماتور شمع‌ها

۶- نصب قفس آرماتور شمع‌ها در درون چاه‌های حفاری شده مطابق شکل شماره ۲-۵



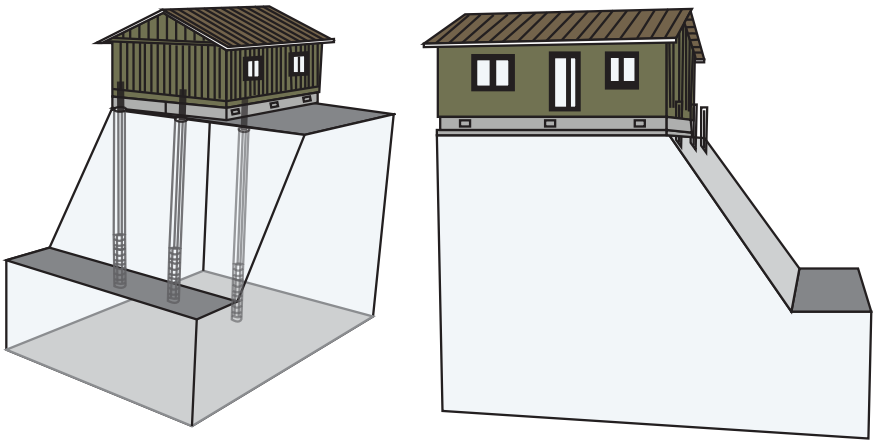
شکل ۲-۵ نصب قفس آرماتور در درون چاه‌های حفاری شده

۷- نصب اعضای قائم درون شمع‌ها و بتن ریزی آنها مطابق شکل شماره ۲-۶



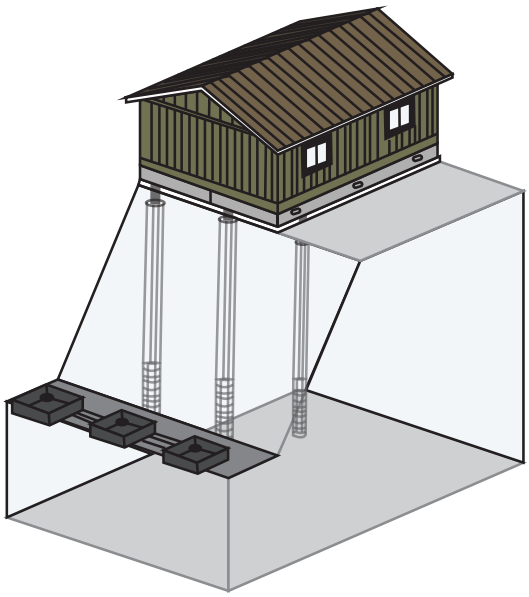
شکل ۲-۶ نصب اعضای قائم سازه نگهبان خرپایی درون شمع حفاری شده

۸- خاک برداری با شیب پایدار (مفهوم و نحوه‌ی محاسبه‌ی شیب پایدار در بخش‌های تحلیل و طراحی بیان می‌گردد) در مجاورت اعضای قائم مطابق شکل شماره ۲-۷



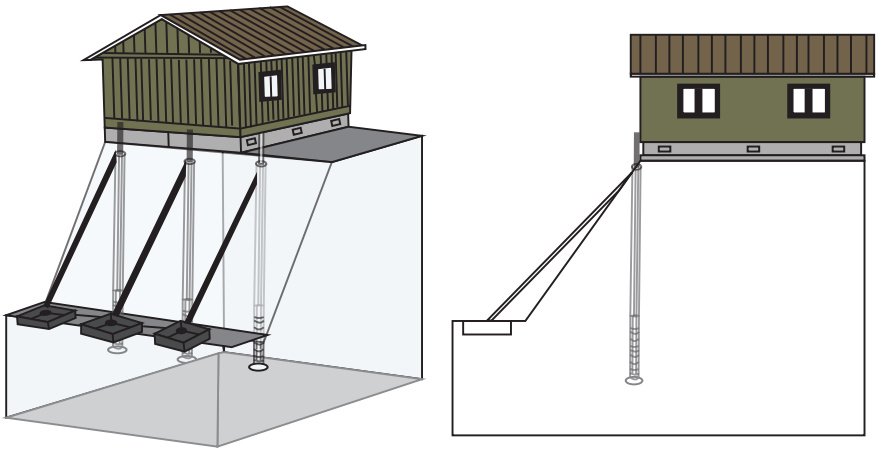
شکل ۲-۷ خاک برداری با شیب پایدار

۹- اجرای پی منفرد در پاشنه پشتی به همراه شناژهای متصل به آن مطابق شکل شماره ۲-۸



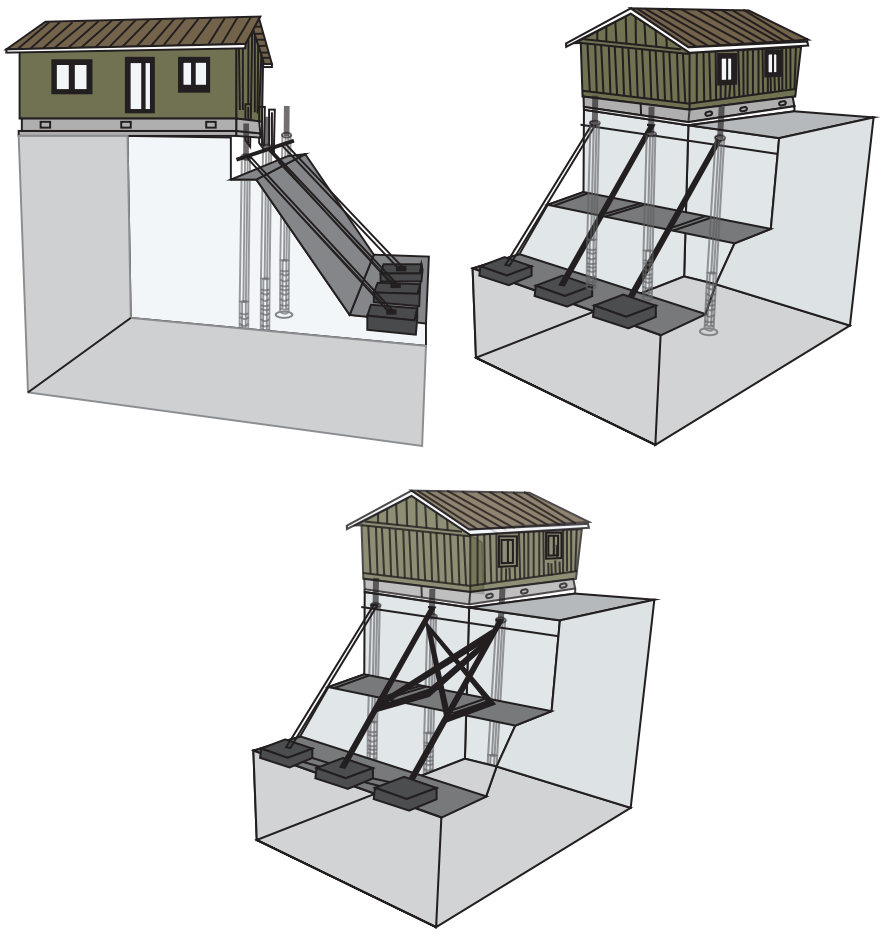
شکل ۲-۸ اجرای پی منفرد سازه نگهبان خرپایی

۱۰- نصب عضو مایل مطابق شکل شماره ۲-۹



شکل ۲-۹ نصب عضو مایل سازه نگهبان خرپایی

۱۱- شروع خاک برداری پله‌ای و نصب اعضای مورب و افقی خرپا و تیرهای عرضی و مهاربندهای مورب میان خرپایی مطابق شکل شماره ۲-۱۰

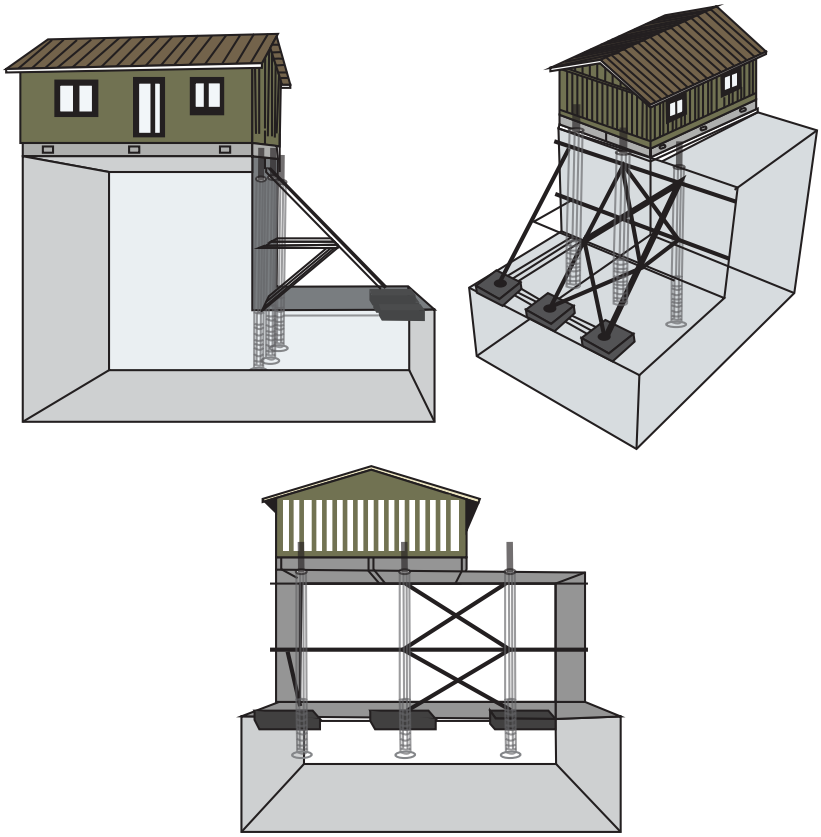


شکل ۲-۱۰ فرآیند خاک برداری و نصب اعضای خرپا

۱۲- اجرای پوسته‌ی انتقال دهنده‌ی فشار خاک به سازه نگهبان (Facing)

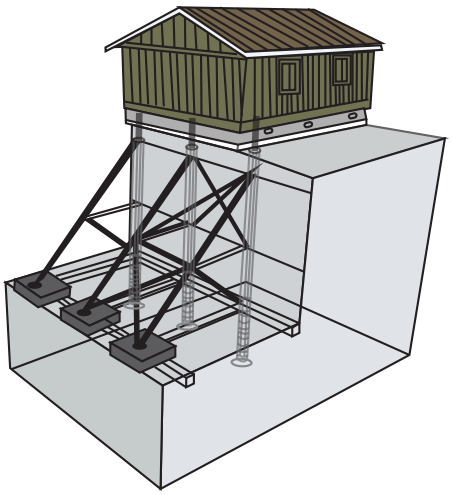
این گام اجرایی از ابتدایی ترین مراحل خاک برداری به صورت پیوسته اجرا شده تا خاک موجود در اطراف سازه نگهبان به تراز مناسب برسد.

۱۳- اتمام خاک برداری تا تراز زیر فونداسیون و نصب اعضای مهاربندی مورب میان خرپایی مطابق شکل شماره ۲-۱۱



شکل ۲-۱۱ پایان خاک برداری و نصب اعضای مورب میان خرپایی

۱۴- تکمیل شناژهای باقی مانده اتصال دهنده سر شمع، مابین شمع و پی منفرد مطابق شکل شماره ۲-۱۲

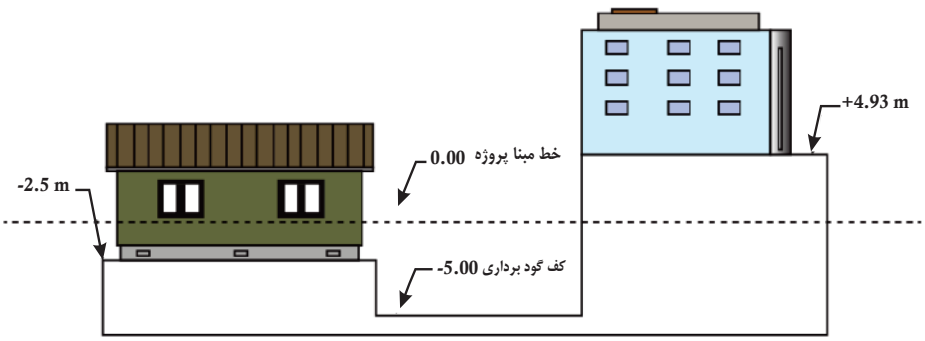


شکل ۲-۱۲ تکمیل فرآیند اجرای سازه نگهبان خرپایی

۲- ۳- ۳- بازدیدهای مهم پیش از شروع فرایند گود برداری

در هر پروژه گود برداری و پایداری گود باید تیم طراحی سازه و ژئوتکنیک از شرایط همجواری‌ها اطلاع داشته باشد. همچنین تیم اجرا نیز باید پیش از شروع خاک برداری از زمین‌ها و املاک مجاور گود بازدید نموده و موارد زیر را بررسی کند. در صورتی که مشاهدات تیم اجرای با فرضیات موجود در دفترچه محاسبات سازه نگهبان اختلاف داشته باشد پیش از شروع گود برداری موارد و مسائل موجود را به طراح سازه یا ژئوتکنیک اعلام نماید تا در صورت نیاز تغییرات لازم در طراحی و نقشه‌ها با توجه به شرایط اصلاح شده انجام پذیرد.

۱- بررسی وضعیت تراز ۰/۰۰ پروژه و نقشه‌های سازه نگهبان و وضعیت تراز ارتفاعی املاک مجاور با این رقوم ارتفاعی.



شکل ۲-۱۳ معرفی اجزای سازه نگهبان خرپایی

این مورد زمانی اهمیت پیدا می‌کند که سایت پروژه در زمین‌های شیب دار واقع شده باشد. این پارامتر در تعیین فشار جانبی خاک و طرح پروژه می‌تواند بسیار مهم باشد.

۲- بررسی سیستم سازه‌ای املاک مجاور به همراه کیفیت ساخت و قدمت ساختمان‌های مجاور گود برداری. بر این مبنا می‌توان سازه‌ها را از نظر سیستم سازه‌ای و پایداری سازه‌ای به دسته‌های مختلفی تقسیم نمود:

الف) ساختمان‌ها با دیوار بنایی باربر بدون شناژ و پی و کلاف اسکلت در کنار گود برداری و دیوارهای حیاط به صورت طره‌ای

ب) ساختمان‌های دیوار بنایی به همراه شناژ و پی و بدون کلاف در اسکلت

پ) ساختمان‌های دیوار بنایی به همراه کلاف بندی در اسکلت -پی‌های منفرد به همراه شناژهای متصل کننده در تراز پی

ت) اسکلت‌های بتنی و فولادی با پی‌های منفرد

ث) اسکلت‌های بتنی و فولادی با پی‌های منفرد و شناژهای متصل کننده

ج) اسکلت‌های بتنی و فولادی با پی‌های نواری

چ) اسکلت‌های بتنی و فولادی با پی گسترده

باید در نظر داشت که موارد فوق به میزان بار و نوع سازه نیز وابسته می‌باشد. به طور کلی هر قدر ساختمان مجاور گود برداری در رو سازه و زیر سازه‌ی خود دارای درجه نامعینی بیشتری باشد در هنگام گود برداری در کنار خود در اثر نشست و تغییر مکان جانبی خاک، نیروهای به وجود آمده در زیر سازه و رو سازه این سازه باز توزیع می‌گردد و از تغییر مکان‌ها و تغییر شکل‌های ناموزون جلوگیری می‌نماید. بر این مبنا سازه‌های بنایی بدون پی و دیوارهای طره‌ای پرخطر ترین سازه‌ها در اطراف گود برداری می‌باشند. عموماً این سازه‌ها از کلاف بندی و استحکام کافی برخوردار نیستند و نمی‌توانند نشست‌های نامتقارن و ناموزون را در اطراف گود برداری در سایر اعضا باز توزیع نمایند اما اگر سازه‌ی مجاور گود برداری دارای پی و شناژهای متصل کننده‌ی پی‌ها به یکدیگر باشد می‌توانند در اثر نشست‌های نا متقارن و ناموزون در هنگام گود برداری نیروهای به وجود آمده در پی را از طریق شناژها به اعضای دیگر منتقل کنند و سازه مقاومت بیشتری در برابر نشست‌ها و تغییر مکان‌های جانبی ناشی گود برداری داشته باشد. مناسب ترین سیستم‌های سازه‌ای سیستم‌هایی هستند که دارای اسکلت بندی کامل و پی‌های نواری یا پی‌های گسترده در کنار گود برداری باشند. عموماً این سازه‌ها به دلیل داشتن درجه نامعینی بالا و باز توزیع مناسب بارهای وارده در هنگام نشست نا متوازن پی، رو سازه از پایداری سازه‌ای خوبی برخوردار می‌باشند. همچنین باید دقت نمود که ارتفاع گود برداری و ابعاد سازه در مکانیزم‌های خرابی تاثیر گذار است. ممکن است یک سازه با پی گسترده در کنار یک گود برداری عمیق وجود داشته باشد و کل ابعاد این سازه در محدوده گوه‌ی گسیختگی قرار گیرد و دچار ریزش کامل شود. البته این مسئله در هنگام تحلیل گود برداری در نرم افزارهای اجزا محدود یا تحلیل پایداری خاک‌ها مانند PLAXIS یا Slope قابل مشاهده می‌باشد.

۳- بررسی تعداد طبقات منفی در سازه‌های مجاور گود برداری

عموماً باید خاک زیر پی سازه‌ی مجاور گو برداری پایدار گردد. بر این مبنا باید تراز زیر پی سازه مجاور تعیین گردد این عمل را می‌توان با مشاهده‌ی نقشه‌های سازه‌ی املاک مجاور گود بدست آورد. در صورت عدم وجود نقشه‌های سازه‌ی املاک مجاور گود با تحقیقات محلی یا بررسی تعداد پله‌های موجود در ساختمان مجاور تا روی تراز پی و تخمینی از ارتفاع کف سازی فونداسیون به تراز معینی از طبقات منفی و ارتفاع منفی سازه مجاور گود دست یافت.

۴- بررسی سربارهای اطراف گود برداری

طراحان عموماً با بررسی شرایط سازه‌های مجاور سربار مناسبی را در حین طراحی در اطراف گود برداری لحاظ میکنند. با بررسی تیم مجری پیش از شروع عملیات گود برداری در صورت وجود مواردی همچون استخر، انبارها و یا سربارهای غیر متعارفی که ممکن است طراح سازه آنها در حین

طراحی لحاظ نکرده باشد برخورد نمایند در این مورد تیم اجرایی پیش از شروع باید موارد فوق را به تیم طراحی سازه یا ژئوتکنیک ارجاع دهد. به صورت نمونه در انبارها ظرف چند ساعت می‌تواند سرباری چند برابر سربار عادی یک ساختمان تخلیه و بارگیری گردد و این مسئله در هنگام پایدار سازی گودها می‌تواند باعث بروز مشکلات اساسی گردد.

۵- تعیین دقیق حریم و زمین‌های اطراف گود برداری

۲- ۳- ۴- کنترل تداخل سازه نگهبان خرپایی با اعضای سازه اصلی پیش از شروع حفاری چاه‌ها

تیم اجرای پروژه باید پیش از شروع حفاری، تداخل اعضای خرپایی و اعضای سازه‌ای را بررسی نماید. این تداخل‌ها را از سه منظر می‌توان بررسی کرد:

۱- تداخل عضو قائم سازه نگهبان با ستون‌های سازه

عموماً طراح سازه در هنگام چیدمان اعضای سازه نگهبان با تطابق محل این عضوها با ستون‌های سازه‌ای سعی می‌نماید که اعضای قائم خرپا را در محل‌هایی قرار دهد که این تداخل ایجاد نشود. باید محل اعضای قائم سازه نگهبان با فاصله‌ی مناسبی از ستون‌های سازه‌ای قرار داشته باشد تا هنگام نصب یا قالب بندی ستون‌های سازه‌ای عضو قائم سازه نگهبان خرپایی مشکل ساز نشود. در سازه‌های بتنی بهتر است حداقل بین ۶۰ الی ۱۰۰ سانتی متر فاصله بین عضو قائم سازه نگهبان خرپایی و ستون سازه وجود داشته باشد تا در بستن قالب ستون‌های بتنی مشکلی ایجاد نشود.

۲- تداخل اعضای مورب و عضو مایل با تیرهای طبقات سازه

بهتر است هندسه خرپا و ترازهای ارتفاعی اعضای مورب و افقی خرپا به صورتی چیده شود تا این اعضا در درون تیرهای سازه‌ی اصلی قرار نگیرند و در هنگام عملیات اجرایی نصب یا قالب بندی این تیرها این اعضا در درون عضوهای سازه‌ای قرار نگیرند. در بسیاری از پروژه‌ها مشاهده می‌شود به دلیل رعایت نکردن این مورد به اشتباه برخی از اعضای مورب و یا عضو مایل خرپا را در زمان نا مناسبی جمع آوری نموده تا اعضای سازه‌ای را اجرا نمایند و این مسئله می‌تواند خطراتی را به همراه داشته باشد.

۳- کنترل تراز روی پی منفرد و سر شمع‌های سازه نگهبان

باید تراز روی پی منفرد و شمع سازه نگهبان و شناژهای مابین آنها زیر تراز بتن مگر باشد. بهتر است طراح سازه یا ژئوتکنیک تراز روی پی منفرد و سر شمع‌ها و شناژهای سازه نگهبان را حداقل ۲۰ الی ۳۰ سانتی متر زیر بتن مگر قرار دهد تا در اثر خطاهای اجرایی(بتن ریزی بیش از حد چاه‌ها در اجرا) و وجود ورق‌های گاست و بولت‌های کف ستون پی منفرد سازه نگهبان خرپایی با بتن مگر و یا آرماتورهای پی اصلی سازه تداخل نداشته باشند و زیر این تراز قرار گیرند.

۲ - ۳ - ۵ - حفاری شمع‌ها

پیش از شروع حفاری‌ها لازم است که تیم اجرایی به همراه کارفرما تمامی چاه‌ها، قنات‌ها و یا فضاهای زیر زمینی را در سایت پروژه شناسایی نموده و محل آن‌ها را به تیم حفاری نشان دهند با انجام این عمل از بسیاری از خطرات در هنگام حفاری چاه‌ها جلوگیری به عمل می‌آورد. حفاری چاه‌ها به دو روش انجام می‌پذیرد:

۲ - ۳ - ۵ - ۱ - حفاری به روش دستی

مزایای حفاری دستی عبارتند از: عدم نیاز به ماشین‌آلات سنگین، در دسترس بودن نیروی مقنی متخصص برای انجام حفاری در بسیاری از نقاط کشور، عدم ایجاد آلودگی صوتی و ارتعاشی، هزینه پایین تر نسبت به حفاری ماشینی.

معایب حفاری دستی عبارتند از: خطرات جانی برای تیم حفاری ومقنی‌ها، سرعت حفاری کم (عموماً یک مقنی بسته به نوع - هندسه و وضعیت خاک برای یک چاه عادی بین ۲ الی ۵ متر میله در روز حفاری می‌نماید) در پروژه‌هایی که تعداد چاه‌های حفاری زیاد می‌باشد حفاری به روش دستی می‌توان بسیار زمان بر باشد و هزینه‌ی زیادی را بر پروژه تحمیل کنند، حفاری سخت در خاک‌های بسیار سست و آبدار به روش دستی.

حفاری در روش دستی به وسیله مقنی انجام میگیرد. پیش از شروع حفاری باید محل چاه‌ها و حریم زمین برای مقنی مشخص گردد و محل و ابعاد حفاری برای مقنی بر روی زمین علامت گذاری گردد و همچنین باید دقت نمود تا حفاری به گونه‌ای انجام شود تا در زمین‌های مجاور وارد نشده و مشکلات حقوقی مربوطه را به وجود نیاورد. هندسه شمع‌ها می‌تواند در اشکال گوناگونی باشد که این مسئله در حفاری تاثیر گذار است از جمله می‌توان به شمع‌های استوانه‌ای شکل، مربعی شکل و یا شمع‌های پا فیلی که در اجرای سازه‌های نگهبان متعارف می‌باشد اشاره نمود.

عموماً به دلیل هندسه شمع‌های پا فیلی این شمع‌ها در محدود مجاور زمین اجرا نمی‌گردد. علت این امر آن است که اجرای شمع به صورت پا فیلی متقارن عموماً باعث تجاور به ملک همسایه می‌گردد. محل شمع‌ها توسط تیم نقشه برداری باید علامت گذاری شود و همچنین یک تراز ارتفاعی با توجه به توپوگرافی محل سایت بر روی سر شمع علامت گذاری شود تا تیم فنی و تیم حفاری چاه‌ها بتواند با استفاده از این تراز ارتفاعی میزان حفاری مورد نیاز چاه را دائما کنترل نماید. بهتر است که ۱ الی ۲ متر ابتدای هر چاه توسط آجر چینی و یا کول گذاری پایدار شود.دلیل این امر آن است که عموماً خاک‌ها ابتدای چاه برای شروع حفاری از نوع نخاله‌های حاصل از تخریب ساختمانی یا خاک‌های نباتی می‌باشد که از مقاومت و پایداری کافی برخوردار نبوده. همچنین بهتر است که این کول گذاری یا آجر چینی از سطح خاک حدود ۵ الی ۱۰ سانتی متر بالاتر قرار بگیرد زیرا با ادامه حفاری و پایین رفتن مقنی ممکن است در اثر سهل انگاری خاک و یا سنگ‌های اطراف دهانه‌ی چاه به داخل آن نفوذ کند لذا بالا آوردن کول یا آجر چینی به میزان ۵ الی ۱۰ سانتی متر از ریزش خاک و سنگ به داخل چاه و یا برخورد آن با مقنی جلوگیری به عمل

می‌آورد. قطر و هندسه‌ی حفاری چاه به شمع طراحی شده توسط طراح بستگی دارد عموماً این قطر به دلیل مسائل اجرایی از ۸۰ سانتی متر به بالا لحاظ می‌گردد و مقنی برای حفاری چاه عموماً دهانه‌ی چاه و قطر چاه را ۱۰ الی ۲۰ سانتی متر از قطر مذکور در نقشه‌های سازه نگهبان بزرگتر حفاری می‌کند. دو دلیل عمده که چاه بزرگتر از ابعاد مذکور در نقشه‌های سازه نگهبان حفر می‌شود وجود دارد:

۱- وجود خطاهایی در هنگام حفاری و کندن چاه

۲- نصب راحت قفس آرماتور در درون چاه و داشتن بتن پوشش[1] مناسب برای سبد آرماتورهای بافته شده.

نکات مهم برای ایمنی مقنی در حین حفاری:

۱- شناخت کامل چاه‌های آب و فاضلاب و فضاهای زیر زمینی در سایت پروژه پیش از شروع عملیات حفاری چاه‌ها.

۲- بررسی سلامت و کنترل لوازم مورد استفاده در حفاری (بالابر، سیم بکسل، لوازم برقی و...).

۳- بستن دائم طناب ایمنی در هنگام حفاری درون چاه.

۴- داشتن کلاه ایمنی به صورت دائمی برای مقنی‌ها در درون چاه.

۵- دقت به تغییر رنگ و رطوبت خاک در هنگام پیشروی در حفاری چاه (عموماً تغییر رنگ و یا تغییر ناگهانی رطوبت خاک در هنگام حفاری میله و انبار چاه‌ها نشان از نزدیک شدن به چاه‌های آب و یا فاضلاب، تراز آب زیر زمینی، لنز آب و... دارد).

۶- دقت به تغییر صدای ضربه تیشه یا کلنگ به توده‌ی خاک (تغییر صدای ضربه‌ی کلنگ در توده‌ی خاک نشان از وجود فضاهای زیر زمینی در نزدیکی مقنی دارد. مقنی باید در این موارد حتماً طناب ایمنی خود را بسته و با تیم همراه در بالای چاه هماهنگ باشد).

۷- عدم دپوی خاک حفاری شده در اطراف دهانه‌ی چاه.

۸- پایدار سازی خاک‌های ریزشی در هنگام حفاری.

۹- روشنایی و هوا دهی مناسب در درون چاه.

۱۰- ایجاد پوشش مناسب بر روی چاه حفاری شده در انتهای روز کاری و جلوگیری از ورود افراد متفرقه در محل حفاری چاه‌ها.

۲- ۳- ۶- حفاری چاه‌ها به روش ماشینی

بیشترین مزیت حفاری ماشینی نسبت به روش حفاری دستی سرعت بالای این حفاری و حفاری در چاه‌های ریزشی می‌باشد. همچنین از معایب این حفاری هزینه بیشتر این روش نسبت به روش دستی می‌باشد. باید توجه داشت با توجه به حجیم بودین این ماشین‌آلات در برخی از پروژه‌های کوچک شهری امکان استفاده از این ادوات نمی‌باشد. در سایت‌های شهری که ساختمان ملک مجاور در خط مرز پروژه می‌باشد و نیاز به حفاری شمع در این خط مرز می‌باشیم به دلیل حجیم بودن این ماشین‌آلات امکان حفاری در آکس مورد نظر نمی‌باشد و دکل حفاری ماشین‌آلات به ملک مجاور

1. Cover